

TUGAS AKHIR - RG141536

ANALISIS PENURUNAN PERMUKAAN LAHAN GAMBUT DI KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU MENGUNAKAN DATA SAR

RULI DWI SUSANTI
NRP 03311440000018

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara. ST.,M.Phil.,Ph.D
NIP. 19781231 200212 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – RG 141536

ANALISIS PENURUNAN PERMUKAAN LAHAN GAMBUT DI KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU MENGGUNAKAN DATA SAR

RULI DWI SUSANTI
NRP 03311440000018

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara. ST.,M.Phil.,Ph.D
NIP. 19781231 200212 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT – RG 141536

ANALYSIS OF PEATLAND SUBSIDENCE IN PELALAWAN REGENCY, RIAU USING SAR DATA

RULI DWI SUSANTI
NRP 03311440000018

Supervisor
Ira Mutiara Anjasmara. ST.,M.Phil.,Ph.D
NIP. 19781231 200212 2 001

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS PENURUNAN PERMUKAAN LAHAN GAMBUS DI KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU MENGGUNAKAN DATA SAR

Nama Mahasiswa : Ruli Dwi Susanti
NRP : 03311440000018
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Ira M. Anjasmara ST., M.Phil., Ph.D

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi lahan gambut terluas di Asia Tenggara.. Pemanfaatan lahan gambut sebagai lahan perkebunan menimbulkan dampak lingkungan akibat aktivitas pembukaan lahan dengan metode drainase. Dampak buruk yang timbul salah satunya yakni penurunan permukaan lahan gambut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar penurunan permukaan lahan gambut di Kabupaten Pelalawan, Riau menggunakan SAR dengan metode DInSAR. Adapun data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel 1-A, data orbit dan DEM SRTM 30 m. Adapun untuk mengetahui persebaran lahan gambut, digunakan Peta Indikatif Prioritas Restorasi oleh Badan Restorasi Gambut tahun 2015 sebagai data penunjang. Penelitian ini menggunakan metode *two pass* DInSAR sehingga menghasilkan dua data perubahan permukaan lahan. Pasangan citra bulan Juni 2015-Juli 2016 menunjukkan penurunan lahan gambut tertinggi sebesar 109,113 mm dan kenaikan permukaan lahan tertinggi sebesar 108,089 mm. Sedangkan pasangan citra kedua yakni bulan Juni 2016-Juli 2017 menunjukkan penurunan permukaan lahan gambut tertinggi sebesar 251,842 mm dan kenaikan permukaan lahan tertinggi sebesar 73,715 mm.

Kata Kunci — Gambut, Penurunan Permukaan, Sentinel 1-A, DInSAR

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS OF PEATLAND SUBSIDENCE IN PELALAWAN REGENCY, RIAU USING SAR DATA

Nama Mahasiswa : Ruli Dwi Susanti
NRP : 03311440000018
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Ira M. Anjasmara ST., M.Phil., Ph.D

ABSTRACT

Indonesia is known as a country that has the largest peatland in Southeast Asia. Peatland is commonly used for agricultural, plantation and settlement purpose. The procedure for land clearing using drainage system leads to some problem such as Subsidence. Moreover, drainage in peatland can cause drought because of peatland characteristic that is not easily absorbing water after drying. This situation is very important to be monitored because the highest risk of forest fire is waiting. The aim of this research is to observe the land subsidence phenomenon on the peatland area in Pelalawan, Riau. This research uses the DInSAR method which needs SAR data such as sentinel 1-A, orbit, and DEM SRTM 30m. Using time interval 1 year between June 2015 until July 2017, DInSAR is used to detect deformation pattern in the imagery from Line of Sight (LOS). Map from Badan Restorasi Gambut is used as validation data to see the area which is recovered by peatland. There are 2 pairs of SAR imagery that is processed using the two-pass method to produce two imageries that reveal LOS displacement in every period. The first DInSAR (June 2015-June 2016) reveals that the highest subsidence is about 109,113 mm and the highest uplift is about 108,089 mm. Meanwhile, by the period, DInSAR in June 2016-July 2017 can be concluded that the highest peat subsidence is about 251,842 mm and the highest uplift is about 73,715 mm.

Keywords— Subsidence, Peatland, Sentinel 1-A, DInSAR

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PENURUNAN PERMUKAAAN LAHAN
GAMBUT DI KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI
RIAU MENGGUNAKAN DATA SAR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RULI DWI SUSANTI
NRP. 03311440000018

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19781231 200212 2001



SURABAYA, JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Penurunan Permukaan Lahan Gambut di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau Menggunakan Data SAR**” ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan secara moral maupun material. Atas segala bantuan dan dukungan tersebut, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang selama pelaksanaan tugas akhir ini memberikan doa, semangat, dan dukungan dalam bentuk lainnya kepada penulis.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, MSc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D, selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan dan sarannya.
4. Teman-teman G16 yang telah menemani selama ini
5. Teman-teman JMMI Inspirasi yang telah melukiskan banyak warna selama berjuang bersama
6. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 23 Juni 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II.....	5
2.1 Radar	5
2.2 SAR.....	6
2.3 DInSAR	9
2.4 Lahan Gambut	11
2.5 Koherensi Citra SAR	14
2.7 Sentinel 1-A.....	15
2.7 Dekorelasi Citra SAR	16
2.8 Penelitian Terdahulu	17
BAB III.....	19
3.1 Lokasi Penelitian	19
3.2 Data dan Peralatan	20
3.2.1 Data	20
3.2.2 Peralatan.....	22
3.3 Metodologi Penelitian	22
3.3.1 Tahap Penelitian.....	22
3.3.2 Tahap Pengolahan Data SAR dengan Metode DInSAR secara Umum	24

3.3.3 Tahap Pengolahan Data SAR Menggunakan GMTSAR.....	28
BAB IV	35
4.1 Hasil Pengolahan Data SAR.....	35
4.1.1 Panjang Baseline dan Jarak Temporal	35
4.1.2 Nilai Koherensi Pasangan Citra	36
4.1.3 Interferogram Pasangan Citra	39
4.1.4 Interferogram Hasil <i>Filtering</i>	39
4.1.5 Interferogram Hasil <i>Phase Unwrapping</i>	41
4.1.6 Interferogram hasil <i>LOS Displacement</i>	42
4.2 Lokasi Lahan Gambut dan Jenis Tutupan Lahan.....	43
4.2.1 Lokasi Lahan Gambut.....	43
4.2.1 Jenis Tutupan Lahan	44
4.3 Analisis Hasil Pengolahan DInSAR.....	46
4.4 Analisis Penurunan Lahan Tahun 2015-2016..	47
4.5 Analisis Penurunan Lahan Tahun 2016-2017..	50
4.6 Perbandingan Hasil <i>Cross Section</i>	53
4.7 Analisis Diskontinuitas Pola Penurunan Permukaan Lahan.....	56
BAB V	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Proses Sistem Radar.....	5
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Peta Indikatif Prioritas Restorasi Provinsi Riau tahun 2015	21
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahap Penelitian	23
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan dengan Metode DInSAR	25
Gambar 3. 5 Kiri:Fase Interferometri SAR yang Dihasilkan dari Dua Citra ERS. Kanan : Fase Hasil <i>Unwrap</i> . Bawah:Diskontinyu Fase Sudah Dihilangkan. (Sumber: ESA, 2007)	28
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Menggunakan GMTSAR	29
Gambar 4. 1 Distribusi Koherensi (a) Pasangan Citra tahun 2015-2016 dan (b) Pasangan Citra tahun 2016-2017	38
Gambar 4. 2 Interferogram Hasil <i>Filtering</i> Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016	40
Gambar 4. 3 Interferogram Hasil <i>Filtering</i> Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juli 2017	40
Gambar 4. 4 Interferogram Hasil Proses Phase Unwrapping Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016.....	41
Gambar 4. 5 Interferogram Hasil Proses Phase Unwrapping Pasangan Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017.....	42
Gambar 4. 6 Interferogram <i>Line Of Sight (LOS)</i> Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016.....	42
Gambar 4. 7 Interferogram <i>Line Of Sight (LOS)</i> Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017	42
Gambar 4. 8 Peta Sebaran Gambut Kabupaten Pelalawan, Riau tahun 2015	43
Gambar 4. 9 Peta Tutupan Lahan Kabupaten Pelalawan Tahun 2011.....	44
Gambar 4. 10 Persebaran Pemukiman di Kabupaten Pelalawan	45

Gambar 4. 11 Desain <i>Cross Section</i> Pasangan Citra Juni 2015- Juni 2016	47
Gambar 4. 12 Grafik <i>Cross Section Station 1</i> DInSAR Juni 2015-Juni 2016	48
Gambar 4. 13 Grafik <i>Cross Section Station 2</i> DInSAR Juni 2015-Juni 2016	48
Gambar 4. 14 Grafik <i>Cross Section Station 3</i> DInSAR Juni 2015-Juni 2016	49
Gambar 4. 15 Grafik <i>Cross Section Station 4</i> DInSAR Juni 2015-Juni 2016	49
Gambar 4. 16 Desain <i>Cross Section</i> Pasangan Citra Juni 2016- Juli 2017	50
Gambar 4. 17 Grafik <i>Cross Section Station 1</i> DInSAR Juni 2016-Juli 2017	51
Gambar 4. 18 Grafik <i>Cross Section Station 2</i> DInSAR Juni 2016-Juli 2017	51
Gambar 4. 19 Grafik <i>Cross Section Station 3</i> DInSAR Juni 2016-Juli 2017	52
Gambar 4. 20 Grafik <i>Cross Section Station 4</i> DInSAR Juni 2016-Juli 2017	52
Gambar 4. 21 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (<i>station 1</i>)	53
Gambar 4. 22 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (<i>station 2</i>)	54
Gambar 4. 23 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (<i>station 3</i>)	55
Gambar 4. 24 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (<i>station 4</i>)	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Citra Sentinel 1-A	20
Tabel 3. 2 Data Orbit	21
Tabel 4. 1 Jarak <i>Baseline</i> Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016.....	35
Tabel 4. 2 Jarak <i>Baseline</i> Pasangan Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017.....	36
Tabel 4. 3 Luas Hutan di Kabupaten Pelalawan.....	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi lahan gambut terluas di Asia Tenggara dengan luas hingga mencapai 20,6 juta ha dimana 43% diantaranya terdapat di Sumatera (Wahyunto dkk, 2003 dalam Turmudi dkk, 2016). Lahan gambut semula merupakan lahan marginal yang kemudian dalam perkembangannya dimanfaatkan sebagai lahan pertanian, perkebunan dan pemukiman. Degradasi dan pengembangan lahan gambut sering dikaitkan dengan aktivitas penebangan hutan dan pembuatan kanal drainase untuk membuka lahan agrikultural seperti kelapa sawit dan tanaman pulp. Sebelum dibuka untuk lahan budidaya perlu di lakukan drainase yang termasuk dalam tahapan reklamasi. Secara umum, lahan gambut dapat menyerap air hingga mencapai 13 kali dari total volumenya. Proses drainase bertujuan untuk mengendalikan konsentrasi air yang terkandung dalam lahan gambut agar sesuai dengan kebutuhan air tanaman budidaya.

Namun, pembuatan kanal drainase yang tidak sesuai akan mengakibatkan lahan gambut menjadi kering dan tidak lagi menyimpan air yang kemudian mengakibatkan *subsidence* atau *ambles* (Turmudi dkk, 2016). Salah satu dampak buruk yang ditimbulkan akibat *subsidence* antara lain tumbangannya tanaman seperti karet, kelapa dan sebagainya. Akibatnya, tanaman tidak mampu berproduksi kembali, dan jika dibiarkan terus menerus akan menimbulkan krisis daerah resapan air. Selain itu, sifat fisik gambut yang tidak *rewetable* atau *irreversible drying*, mengakibatkan lahan gambut tidak dapat kembali menggenang setelah mengalami kekeringan yang berlebihan (*over drained*). Sehingga, permukaan lahan gambut yang mengalami penurunan memiliki kemungkinan terbakar lebih besar di musin kemarau.

Kabupaten Pelalawan merupakan salah satu kabupaten dengan tingkat pengelolaan lahan gambut yang tinggi. Pemanfaatan lahan

di Kabupaten Pelalawan terdiri dari Hutan Tanaman Industri, Hutan Lindung, Ekosistem Lahan Gambut, Kawasan Suaka Margasatwa, dan Hutan Mangrove. Menurut penelitian dari Kementerian Lingkungan dan Kehutanan pada tahun 2013, luas lahan gambut di Kabupaten Pelalawan mencakup 51,43% dari total luas wilayahnya atau sebesar 6.647,04 km². Berdasarkan penutupan vegetasinya, sebagian besar ekosistem lahan gambut di Kabupaten Pelalawan telah dikonversi menjadi areal Hutan Tanaman Industri (HTI) dan perkebunan kelapa sawit. Lebih mengkhawatirkan lagi, pada areal-areal di luar konsensi (HTI dan perkebunan) sebagian besar ekosistem sekundernya telah berubah menjadi lahan terlantar dan tergradasi.

Beberapa metode yang pernah diterapkan untuk menganalisis penurunan tanah/*subsidence* lahan gambut yakni dengan menggunakan data *spotheight*. Data *spotheight* yang sudah melalui proses ekstraksi dan interpolasi digunakan untuk mendapatkan distribusi ketinggian di seluruh wilayah. (Baella dkk 2007 dalam Turmudi dkk 2016). Data tersebut kemudian divalidasi menggunakan data GPS. Namun, data *spotheight* yang hanya diambil dari beberapa titik sampel mengakibatkan pola *subsidence* yang timbul tidak semuanya sesuai dengan kondisi lapangan atau nilai akurasi yang didapatkan belum maksimal. Selain itu, metode lain yang digunakan yakni dengan menancapkan pipa PVC untuk mengetahui perubahan tinggi dan kandungan lahan gambut dan dengan memanfaatkan teknologi *Differential Global Positioning System* (DGPS). Namun metode tersebut memiliki kekurangan dalam hal waktu, biaya dan skala pekerjaan yang dapat dilakukan serta terdapat ketebatasan dalam akses ke lokasi lahan gambut yang pada umumnya hutan (Zhou, 2013).

Dengan menggunakan teknologi radar, nilai *subsidence* dapat didapatkan dari seluruh lokasi di daratan. Hal ini karena citra radar bersifat sapuan dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan dipantulkan kembali ke sensor. Selain itu, citra radar tidak terpengaruh oleh waktu, dapat diakuisisi pada siang dan malam hari tanpa terpengaruh cuaca. Adapun teknik *Differencing*

Interferometric SAR (DInSAR) berperan untuk menghilangkan efek atmosfer dan topografi dari data interferogram citra SAR yang diperoleh dari proses InSAR sehingga didapatkan nilai deformasi suatu wilayah. Dalam penelitian ini akan mencoba mengimplementasikan konsep perubahan posisi yang diperoleh dari data SAR yang terintegrasi dengan data *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM sehingga diperoleh nilai perubahan posisi yang merupakan nilai deformasi. Adapun untuk mengetahui lokasi persebaran lahan gambut, digunakan data Peta Digital Indikatif Prioritas Restorasi Provinsi Riau. Analisis penurunan tanah/*subsidence* di Kabupaten Pelalawan ini dapat memberikan informasi kesesuaian pengelolaan lahan gambut di Kabupaten Pelalawan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari tugas akhir ini antara lain :

1. Berapa besar nilai penurunan permukaan tanah di Kabupaten Pelalawan, Riau yang diamati menggunakan data SAR?
2. Bagaimana peta penurunan permukaan lahan gambut di Kabupaten Pelalawan, Riau?
3. Bagaimana analisis penurunan permukaan lahan gambut di area Hutan Tanaman Industri Kabupaten Pelalawan, Riau?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini antara lain:

1. Wilayah penelitian yaitu Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau.
2. Metode yang digunakan yakni *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR).
3. Data yang digunakan yakni citra satelit Sentinel-1A wilayah Kabupaten Pelalawan, Riau yang diakuisisi pada bulan Juni 2015, Juni 2016, dan Juli 2017.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai penurunan permukaan tanah di Kabupaten Pelalawan, Riau yang diamati menggunakan data SAR
2. Membuat peta penurunan permukaan lahan gambut skala 1:1.000.000 di Kabupaten Pelalawan, Riau
3. Menganalisis penurunan permukaan lahan gambut di area Kabupaten Pelalawan, Riau.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

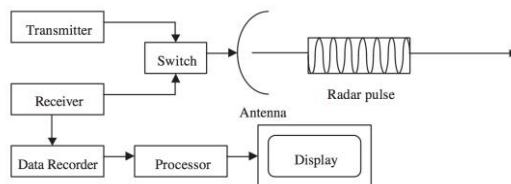
1. Mampu mengetahui konsep pembuatan peta penurunan tanah dengan menggunakan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR).
2. Mampu menganalisis fenomena penurunan permukaan lahan gambut sehingga dapat dijadikan rekomendasi bagi Pemerintah terkait pemberian izin kepada perusahaan maupun pihak-pihak yang melakukan budidaya di atas lahan gambut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radar

Radar atau Radio Detection and Ranging dapat berupa suatu teknik atau alat yang saat ini dimanfaatkan untuk kepentingan militer dan non militer seperti pencitraan, petunjuk, *remote sensing* dan *positioning*. Sistem radar pada awalnya dikembangkan untuk tujuan pelayaran dan pendeteksi pesawat (militer) pada tahun 1920-an. Selanjutnya pengembangan sistem radar terus berlanjut hingga dikembangkan sistem radar dengan frekuensi 60 MHz pada tahun 1934 oleh *Naval Research Laboratory* (NRL), Amerika Serikat (Chan & Koo, 2008).

Pada umumnya, radar terdiri dari beberapa komponen yang terdiri atas *transmitter*, *switch*, *antena*, *receiver* dan perekam data (*recorder*). Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan radar berupa gelombang radio dan gelombang makro, dengan panjang gelombang beberapa milimeter hingga sekitar satu meter. Gelombang radio dan gelombang makro tersebut dipancarkan ke seluruh permukaan bumi dan pantulannya terdeteksi oleh sistem radar yang selanjutnya digunakan untuk mendeteksi objek. Sinyal yang dipantulkan tersebut akan diubah menjadi *digital number* oleh *receiver* dan disimpan dalam *recorder* untuk diolah dan ditampilkan.



Gambar 2. 1 Diagram Proses Sistem Radar
(Sumber : Chan & Koo, 2008)

Spektrum gelombang elektromagnetik yang digunakan pada sistem radar adalah pada rentang frekuensi 300 MHz hingga 30 GHz. Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan berpengaruh terhadap daya penetrasi yang sistem radar. Semakin besar panjang gelombang (semakin kecil frekuensi) maka daya penetrasi semakin kuat. Besarnya panjang gelombang suatu sistem radar biasanya dikelompokkan menurut band, band yang digunakan bergantung pada aplikasi yang akan dikerjakan. Konsep pengukuran radar pada dasarnya merupakan pengukuran jarak berdasarkan waktu yang diperlukan gelombang elektromagnetik mulai dari penjalarannya dari sensor hingga kembali lagi ke sensor. Pengukuran yang dilakukan dari wahana pesawat terbang atau citra satelit mengakibatkan pengukuran dilakukan ke arah miring (*side looking*). Pengukuran jarak antara sensor ke target dirumuskan sebagai berikut :

$$S = c \frac{\Delta t}{2} \quad (2.1)$$

dimana :

S = jarak antara sensor ke permukaan bumi (m)

c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)

Δt = waktu tempuh gelombang sejak dipancarkan hingga kembali ke sensor (*second*)

2.2 SAR

SAR mengambil keuntungan dari sistem Doppler terutama dari gema radar yang dihasilkan dari perputaran suatu benda di depan satelit untuk mensintesis sebuah antenna besar. Ini memberikan hasil ketelitian tinggi dari resolusi azimuth pada citranya, dengan ukuran antenna secara fisik adalah kecil. Ketika satelit radar ini bergerak pada posisinya dan memancarkan setiap pulsanya, pengambilan terobosan gema ke *receiver* dan direkam dalam tempat penyimpanan gema (*signal storage*) (*European Space Agency* (ESA), 2013).

SAR menggunakan sistem Doppler, dimana prinsip dari Doppler yaitu frekuensi suatu sumber bunyi akan terdengar berubah apabila sumber bunyi tersebut berubah posisinya relatif terhadap sensor (pendengar). Prinsip Doppler ini berlaku pula untuk gelombang elektromagnetik. Dengan adanya prinsip Doppler ini maka akan terjadi perubahan frekuensi yang memenuhi persamaan (2.2) (Skolnik, 1990). Berikut yang kemudian dinamakan “Perubahan Frekuensi Doppler” (*The Doppler Frequency Shift*).

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v_r f_0}{c} \quad (2.2)$$

dengan :

f_d = Perubahan Frekuensi Doppler (GHz)

v_r = Kecepatan target bergerak relatif terhadap sensor (m/s)

c = Cepat rambat cahaya (3×10^8 m/s)

f_0 = Frekuensi Transmisi (GHz)

λ = Panjang gelombang (m)

Sistem SAR lahir untuk mengatasi keterbatasan dari sistem RAR, yaitu penggunaan antena pada RAR yang semakin panjang untuk mendapatkan resolusi spasial citra yang semakin tinggi. SAR menggunakan prinsip Doppler pada perambatan gelombang radio dengan frekuensi tertentu. Prinsip Doppler ini mengacu pada perubahan frekuensi atau panjang gelombang yang dihasilkan dari pergerakan relatif antara sensor dan target. Pada sistem SAR dimungkinkan untuk mendapatkan resolusi spasial lebih tinggi, khususnya untuk resolusi searah lintasan.

Pada sistem SAR, gelombang tidak akan terdeteksi secara bersamaan. Antena kecil pada wahana akan bergerak di sepanjang lintasan, sinyal yang diterima di setiap posisi akan direkam, lalu dikombinasikan dengan sistem pengolahan data. Dengan menggunakan prinsip Doppler, hasil citra untuk setiap obyek akan berbeda tanpa memiliki antena yang panjang karena pada saat

wahana bergerak melewati obyek, obyek akan terekam dengan frekuensi yang berbeda-beda dengan selang waktu tertentu dan hasil yang penting adalah resolusi searah lintasan pada sistem SAR tidak tergantung pada jarak antenna ke permukaan dan dengan antenna yang lebih kecil akan memberikan resolusi yang lebih baik. Adapun lebar sorot dinyatakan sebagai berikut (Ismullah, 2002)

$$\beta = \frac{\lambda}{d} \quad (\text{rad}) \quad (2.3)$$

dimana :

λ = panjang gelombang (m)

d = panjang antenna riil (m)

adapun panjang antenna sintetis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$D = L \frac{\lambda}{d} (\text{m}) \quad (2.4)$$

Dengan demikian, dari persamaan (2.3) dan (2.4) akan didapat lebar sorot untuk antenna sintetis (β_s), tetapi harus diperhatikan bahwa antenna sintetis akan terbentuk setelah menempuh jarak $2 \times D$ di permukaan tanah dengan penjalaran pergi pulang, sehingga lebar sorot yang terjadi untuk antenna sintetis menjadi (Kingsley & Quegan, 1992):

$$\beta = \frac{\lambda}{2D} = \frac{d}{2L} \quad (\text{rad}) \quad (2.5)$$

Jadi, resolusi azimuth untuk antenna sintetis :

$$R_a = L \cdot \beta_s = \frac{d}{2} \quad (\text{m}) \quad (2.6)$$

d = panjang antenna sebenarnya (m)

D = panjang antenna sintetis (m)

L = jarak dari sensor ke obyek (m)

Pengolahan sinyal pantul yang diterima akan menghasilkan citra. Semakin kasar suatu permukaan, maka citra

tersebut akan menghasilkan area yang lebih terang atau berwarna putih karena sebagian besar gelombang yang dipancarkan memantul kembali ke antena. Karena SAR menggunakan gelombang elektromagnetik, maka selain menghasilkan citra intensitas juga menghasilkan citra fase.

2.3 DInSAR

Teknik *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) digunakan untuk mendapatkan informasi yang terkandung pada data fase radar, minimal terdapat dua citra SAR yang memiliki epok berbeda dengan cakupan wilayah yang sama serta dapat membentuk suatu pasangan interferometri. Dalam sebuah data SLC (*Single Look Complex*) terdapat data amplitudo dan beda fase, data beda fase merupakan hal terpenting dalam penelitian menggunakan teknik Interferometry SAR. Akuisisi data yang berulang pada umumnya didapat dari dua citra dengan sensor yang sama, kemungkinan didapatkannya kesamaan interferometri dengan pasangan sensor berbeda sangat kecil.

DInSAR adalah teknik yang berguna dan sangat akurat dalam mendeteksi pergerakan permukaan tanah ataupun deformasi tanah pada jalur yang diamati oleh antena satelit menggunakan *Synthetic Aperture Radar*, dimana data pengamatan yang digunakan direkam pada dua waktu yang berbeda atau dari dua posisi pengamatan yang berbeda. Teknik DInSAR menggunakan citra SAR untuk menghasilkan data interferogram dan data DEM (*Digital Elevation Model*) untuk menghilangkan pengaruh topografi pada interferogram. Metode ini memerlukan DEM eksternal yang dapat didownload secara manual maupun otomatis dari *software* yang digunakan. Ketelitian DEM sangat berpengaruh terhadap akurasi citra DInSAR yang dihasilkan. Prinsip dari teknik DInSAR secara singkat adalah sebagai berikut:

1. Sensor merekam citra SAR pertama pada waktu t_0 , mengukur besar fase Φ_M , citra ini biasanya disebut citra *Master*, M.

2. Diasumsikan bahwa deformasi yang terjadi adalah $D(t)$, yang dipengaruhi oleh perubahan waktu, titik P menjadi P'.
3. Sensor merekam citra SAR kedua pada waktu t , mengukur fase Φ_S . Citra kedua biasanya didefinisikan sebagai *Slave*, S.

Selanjutnya, data akan diolah dengan teknik InSAR untuk mendapatkan perbedaan Φ_M dan Φ_S yang disebut $\Delta\Phi_{Int}$. Diasumsikan bahwa jika nilai $D(t)$ nol, maka permukaan tanah stabil dan nilai P sama dengan P', fase ini berhubungan dengan perbedaan jarak SP-MP, yang merupakan kunci dari turunan DEM InSAR. Ketika suatu titik berpindah dari P ke P; antara dua akuisisi citra, selain komponen fase topografi Φ_{Topo} , $\Delta\Phi_{Int}$ juga mempengaruhi pergeseran suatu titik di permukaan bumi, Φ_{Mov} .

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_{Int} &= \Phi_S - \Phi_M = \frac{SP - MP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \frac{SP^{-1} - SP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Noise} \\ &= \Phi_{Topo} + \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Noise} \quad (2.7)\end{aligned}$$

dimana:

- Φ_{Atm} = efek atmosfer
- Φ_{Noise} = noise akibat fase
- SP^{-1} = jarak antara citra *Slave* ke P¹
- λ = panjang gelombang radar

DInSAR pada dasarnya merupakan hasil perhitungan *ground displacement* yang telah ditambahkan dengan komponen lain sesuai persamaan 2.8. Dimana Φ_{def} merupakan perubahan fase berdasarkan perubahan dari *pixel* oleh arah *satellite line of sight* (LOS), Φ_h merupakan *error phase topografi*, Φ_{atm} menunjukkan *phase delay* akibat atmosfer, Φ_β adalah *residual phase* yang disebabkan oleh *error orbit*, dan Φ_n merupakan gangguan fase (Hanssens, 2001).

$$\Phi_{\Delta t} = \Phi_{def} + \Phi_h + \Phi_{atm} + \Phi_\beta + \Phi_n \quad (2.8)$$

Menurut Crosetto dkk (1999) terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam penggunaan teknik DInSAR yakni :

1. Banyaknya citra SAR yang digunakan dalam teknik pengolahan DInSAR yang menggambarkan secara jelas perbedaan antara teknik DInSAR pada umumnya dan teknik lain yang lebih terpercaya
2. Kriteria yang digunakan dalam pemilihan *pixel* yang tepat untuk estimasi deformasi tanah
3. Ketersediaan *software* untuk pengolahan teknik DInSAR
4. Sumber data yang digunakan
5. Validasi dari hasil pengolahan dengan teknik DInSAR

Teknik DInSAR memungkinkan untuk mendeteksi deformasi yang nilainya dapat mencapai 1mm/tahun. Adapun aplikasi teknologi DInSAR yang pernah diterapkan di beberapa bidang antara lain (Crosetto, 2008):

1. Aktivitas vulkanik gunung api berupa deflasi dan *uplift*
2. Glaciologi, diantaranya untuk pengukuran topografi di daerah *ice sheet* seperti Greenland dan Antartika
3. *Landslide*/Tanah longsor
4. Penurunan muka tanah akibat aktivitas pengambilan air tanah

2.4 Lahan Gambut

Lahan gambut merupakan lahan yang memiliki lapisan kaya akan bahan organik dengan ketebalan 50 cm atau lebih. Tanah gambut terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang belum lapuk sempurna karena kondisi lingkungan jenuh air dan miskin hara. Oleh karena itu lahan gambut banyak ditemui di daerah rawa belakang (*back swamp*) atau daerah cekungan dengan drainase buruk (Agus & Subiksa, 2008) . Gambut terbentuk dari timbunan tanaman mati yang terus bertambah karena terhambatnya proses dekomposisi oleh kondisi anaerob atau kondisi lingkungan lainnya. Proses pembentukan lahan gambut membutuhkan waktu yang lama, kecepatan proses pembentukannya adalah sebesar 0,5 - 1mm

per tahun dengan variasi lokal tinggi. Adapun lahan gambut yang tersedia saat ini diperkirakan terbentuk sejak 10.000 tahun setelah berakhirnya zaman es (Chan & Koo, 2008).

Lahan gambut memiliki beberapa karakter yang berpengaruh dalam pemanfaatannya untuk pertanian, diantaranya (Agus & Subiksa, 2008):

1. Gambut memiliki kadar air tanah tinggi dengan kemampuan menyerap air hingga 13 kali bobotnya
2. Berat isi (*bulk density*) rendah sehingga cenderung lembek dan daya menahan bebannya rendah
3. Volume akan menyusut bila didrainase, sehingga mengakibatkan penurunan permukaan (*subsidence*)
4. Memiliki sifat *irreversibel drying* atau sulit menggenang kembali setelah mengalami kekeringan
5. Kandungan gambut Indonesia pada umumnya kurang dari 5%, sisanya bahan organik
6. Tingkat keasaman relatif tinggi yakni dengan kisaran pH 3,25-3,75
7. Memiliki tingkat kesuburan rendah karena rendahnya unsur hara dan kandungan asam-asam organik yang bersifat racun

Gambut dapat digolongkan sebagai sumberdaya yang dapat diperbaharui dalam skala waktu geologis. Kecepatan pertumbuhan gambut diprediksi bervariasi antara 0,5 hingga 1,0 mm/tahun dengan laju subsidensi gambut yang didrainase sekitar 1,5-3 cm/tahun. Karena laju subsidensi 15-30 kali dari laju pertumbuhannya, maka gambut tergolong dalam sumberdaya alam yang dapat diperbaharui (Andriesse, 1988 dalam Wibowo, 2009). Lahan gambut sendiri memiliki beberapa sifat diantaranya :

1. Terjadi *subsidence* apabila didrainase
2. Sifat tidak dapat pulih apabila terjadi pengeringan
3. Mudah terbakar dan pH rendah (bersifat asam)
4. Miskin unsur hara makro : P dan K
5. Kekurangan unsur hara mikro: Zn, Cu dan B

Secara umum, lahan gambut kaya akan keanekaragaman, dipengaruhi oleh spesies dan komposisi vegetasi di sekitarnya yang banyak mempengaruhi warna dan komposisi dan jenis tanaman yang dapat tumbuh di atas lahan gambut (Charman dkk,2008 dalam Zhou,2013). Menurut Agus dan Subiksa (2008), berdasarkan tingkat kesuburan tanah gambut dibedakan menjadi :

1. Gambut eutrofik, yakni gambut yang subur, kaya akan bahan mineral, basa dan unsur hara lainnya. Pada umumnya memiliki ketebalan yang tipis dipengaruhi oleh sedimen sungai atau lautan.
2. Mesotrofik, yakni gambut yang agak subur karena memiliki kandungan mineral dan basa sedang.
3. Gambut oligotrofik, yakni gambut yang tidak subur karena kurang akan kandungan mineral dan basa-basa.

Menurut Radjaguguk (1997) dalam Agus dan Subiksa (2008), gambut di Indonesia tergolong gambut mesotrofik dan oligotrofik. Gambut eutrofik di Indonesia hanya sedikit dengan persebaran di daerah pantai dan di sepanjang jalur aliran sungai. Lahan gambut semula merupakan lahan yang marginal, kemudian dalam perkembangannya masyarakat sekitar mulai memanfaatkannya untuk berbagai penggunaan seperti perkebunan pertanian dan pemukiman. Menurut Nugroho (2015) dalam Turmidi dkk (2016), praktek penggunaan lahan gambut yang dibuka untuk pertanian dan perkebunan umumnya mengalami *subsidence*. Secara umum, untuk keperluan budidaya pada lahan gambut yang terganggu perlu dilakukan reklamasi terlebih dahulu. Menurut Direktorat Pengelolaan Lahan Deptan (2008) dalam Widyati (2011), reklamasi lahan rawa merupakan upaya pemanfaatan lahan rawa yang telah diusahakan untuk meningkatkan luas areal tanam dan produktivitas tanaman. Berdasarkan pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa reklamasi merupakan usaha awal untuk mengelola lahan gambut sebelum dilakukan budidaya untuk menunjang usaha budidaya Hutan Tanaman Industri (HTI) secara optimal seperti melalui

drainase dengan tujuan menurunkan kadar air agar sesuai dengan media tumbuh tanaman.

Drainase yang ideal bertujuan untuk membuang kelebihan air hujan secara tepat waktu dan efisien serta mengendalikan muka air tanah agar mencapai kondisi optimum bagi pertumbuhan tanaman (Tie & Lim 1992 dalam Widyati, 2011). Pengelolaan drainase yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak lingkungan bagi ekosistem lahan gambut seperti meningkatnya resiko kebakaran dan meningkatnya emisi gas rumah kaca. *Subsidence* lahan gambut akibat dari drainase yang tidak tepat timbul karena gambut memiliki sifat non renewable atau irreversible drying, artinya sekali mengalami kekeringan yang berlebih (*over drained*), sifat koloid gambut menjadi rusak sehingga gambut tidak dapat lagi mengikat air (Widyati, 2011).

2.5 Koherensi Citra SAR

Koherensi merupakan nilai yang dimiliki oleh setiap *pixel* dalam interferogram. Koherensi dapat digunakan untuk mengukur akurasi dari fase interferometrik untuk klasifikasi citra. Besar kecilnya nilai koherensi yang diinginkan harus disesuaikan dengan kondisi lapangan saat observasi sehingga dapat memenuhi kebutuhan data. Beberapa hal yang sering menjadi pertimbangan untuk mendapatkan nilai koherensi yang sesuai yakni musim pada saat perekaman citra, banyak sedikitnya vegetasi dan resolusi citra SAR yang digunakan. Pada prakteknya, akurasi dari fase hasil dari observasi daerah yang relatif sama (regional) diasumsikan stasioner (Hanssens, 2001).

Pada penelitian Zhou (2013), nilai koherensi yang dihasilkan oleh citra *C-Band* menunjukkan nilai $<0,2$ untuk daerah hutan (vegetasi rapat). Hal ini karena, *C-Band* memiliki panjang gelombang yang tergolong pendek sehingga tidak dapat melakukan penetrasi terhadap pohon. Sinyal yang kembali pada umumnya dipantulkan dari atas kanopi pohon dan sedikit sinyal yang dipantulkan dari batangnya. Koherensi yang rendah dari area

gambut terjadi pada pengamatan citra SAR yang memiliki interval waktu yang panjang karena cepatnya perubahan yang terjadi akibat pertumbuhan vegetasi dan perubahan akibat parameter lingkungan lainnya.

2.7 Sentinel 1-A

Sentinel-1 merupakan salah satu satelit yang diluncurkan oleh ESA (*European Space Agency*). Sensor yang dibawa Sentinel-1 merupakan satelit penginderaan jauh aktif dengan gelombang mikro sehingga memiliki keunggulan dibanding sistem optik yaitu dapat menembus awan dan tidak terganggu oleh cuaca serta dapat mengindera baik siang maupun malam. Dengan demikian pemanfaatan data ini penting untuk dikembangkan di Indonesia, khususnya untuk pendugaan cadangan karbon, mengingat Indonesia terletak dekat dengan ekuator sehingga data-data penginderaan jauh optis yang tersedia sering terganggu oleh pengaruh atmosfer dan tutupan awan.

Sentinel-1 merupakan misi yang melibatkan satu konstelasi dengan dua orbit polar satelit, beroperasi pada sepanjang hari dengan membawa band-C SAR (*Synthetic Aperture Radar*), yang memungkinkan untuk mendapatkan citra tanpa terpengaruh cuaca. Sentinel-1 bekerja dengan sistem pra-pemrograman untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan dan untuk mendapatkan kumpulan data yang konsisten dengan jangka waktu yang panjang. Satelit Sentinel-1 pertama (Sentinel-1A) dibawa oleh roket SOYUZ di Guyana, Prancis pada awal 2014 disusul dengan peluncuran kedua (Sentinel-1B) pada tahun 2016. Sentinel 1 merupakan misi dari *European Radar Observatory for the Copernicus* yang bekerjasama dengan *European Commission (EC)* dan *European Space Agency (ESA)*. Sentinel-1 didesain untuk meningkatkan kuantitas perekaman data, cakupan wilayah, dan penyediaan data dengan time-series yang panjang. Konstelasi satelit ini meliputi seluruh permukaan bumi yang meliputi daratan dan lautan.

Sentinel-1 membawa instrumen *single C-Band SAR* yang beroperasi pada frekuensi tengah sebesar 5,405 GHz. Instrumen C-SAR mampu beroperasi dengan dual polarisasi (HH+HV, VV+VH) yang berwujud satu pasangan transmit (H atau V) dan yang kedua adalah pasangan penerima untuk polarisasi H dan V. Dual polarisasi ini berguna untuk klasifikasi daratan dan lautan yang tertutup es. Terdapat empat mode akuisisi Sentinel-1 yakni *Stripmap* (SM), *Interferometric Wide Swath* (IW), *Extra-Wide Swath* (EW) dan *Wave Mode* (WV). Keempat mode akuisisi tersebut memiliki resolusi yang berbeda yakni *Stripmap* (SM) memiliki resolusi $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ dengan lebar wilayah sebesar 80 km, *Interferometric Wide Swath* (IW) memiliki resolusi $5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ dengan lebar wilayah sebesar 250 km, *Extra-Wide Swath* (EW) memiliki resolusi $20 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ sedangkan *Wave Mode* (WV) memiliki resolusi sebesar $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ (*European Space Agency* (ESA), 2013).

Sentinel 1-A memiliki dua jenis polarisasi, klasifikasi jenis polarisasi tersebut berdasarkan arah transmisi sinyal dan arah energi hambur balik. Polarisasi VH (*Vertical Transmit-Horizontal Receive Polarisation*) merupakan mode polarisasi radar dimana gelombang mikro dari medan listrik berorientasi vertikal untuk mentransmisi sinyal dan antenna radar menerima energi *backscatter* menjadi medan listrik yang terpolarisasi secara horizontal. Sedangkan polarisasi VV (*Vertical Transmit-Vertical Receive Polarisation*) merupakan tipe polarisasi dsengan gelombang mikro dari medan listrik berorientasi vertikal pada sinyal transmisi maupun *receiver* dari antenna radar.

2.7 Dekorelasi Citra SAR

Dekorelasi didefinisikan sebagai *noise* yang disebabkan oleh sumber error yang memiliki korelasi lebih pendek daripada koherensi estimasi. Dekorelasi dalam hal ini tidak termasuk yang disebabkan karena kesalahan orbit dan kesalahan lain akibat kondisi atmosfer. Menurut Hanssens (2001), beberapa sumber penyebab terjadinya efek dekodekorelasi antara lain :

- a. *Baseline* atau *Geometric Decorrelation*
Dekorelasi geometrik disebabkan oleh perbedaan *incidence angle* antara dua akuisisi citra SAR. Nilai dekodekorelasi geometrik berbanding lurus dengan nilai *spectral shift*. *Spektral shift* merupakan salah satu kondisi dimana adanya perbedaan antrara spektrum objek dengan spektrum data. Adanya *spectral shift* menyebabkan tidak terbentuknya beda fase dalam interferogram sehingga tidak ada *fringes* yang terbentuk.
- b. *Thermal Decorrelation*
Dekorelasi termal disebabkan oleh karakteristik sistem, termasuk faktor bawaan dan karakteristik antena
- c. *Temporal Deccorelation*
Dekorelasi temporal disebabkan oleh perubahan fisik permukaan bumi yang mempengaruhi karakteristik hamburan dari permukaan.
- d. Dekorelasi Akibat Pengolahan
Dekorelasi yang merupakan akibat dari pemilihan algoritma saat proses coregistrasi dan interpolasi

2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa kajian mengenai penurunan lahan gambut sudah pernah dilakukan baik dari dalam maupun luar negeri. Luas lahan gambut Indonesia yang menduduki peringkat pertama se-Asia Tenggara membuat studi mengenai gambut di Indonesia cukup diminati, berikut ini adalah penelitian mengenai penurunan permukaan gambut yang pernah dilakukan :

1. Pada tahun 2013, seorang peneliti bernama Zhiwei Zhou dari University of Glasgow dalam thesis PhD-nya yang berjudul *The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands*, memanfaatkan teknologi InSAR time series untuk mengetahui perubahan ketinggian lahan gambut dan estimasi *carbon loss*. Area studi yang diteliti terdiri dari dua wilayah dengan kategori lahan gambut yang berpengaruh secara global yaitu *upland blanket bog* di Inggris dan *tropical fens* di Indonesia menggunakan dua jenis citra SAR

dengan frekuensi berbeda, yakni *C-Band* dan *L-band*. Adapun data yang digunakan yakni data Envisat (*C-Band*) dan ALOS (*L-band*). Kedua data tersebut digunakan untuk investigasi tingkat erosi dan kepadatan dari lahan gambut di Gunung Monadhliath, Skotlandia menggunakan teknologi InSAR. Sedangkan citra ALOS *L-band* digunakan untuk memperkirakan penurunan lahan (*subsidence*) dan *carbon loss* di Sumatra, Indonesia. Selain itu, dilakukan pula kajian efek restorasi lahan gambut di Kalimantan Tengah menggunakan data ALOS yang direkam pada waktu yang berdekatan.

2. Pada tahun 2016, Turmudi dan beberapa rekannya melakukan penelitian mengenai dampak penurunan permukaan lahan gambut yang dipublikasi dalam Seminar Nasional Peran Geospasial di Badan Informasi Geospasial dengan judul Pengelolaan Lahan Gambut dan Dampak Subsiden yang Ditimbulkannya (Studi Kasus Kepulauan Meranti, Provinsi Riau). Dalam penelitiannya, Turmudi dkk menggunakan data peta tutupan lahan tahun 2015, peta RBI skala 1: 50.000, dan data tanah. Selain itu ia juga melakukan validasi di lapangan menggunakan GPS. Informasi tutupan lahan yang digunakan Turmudi dkk berasal dari citra Landsat 8 tahun 2015. Terdapat pula data informasi ketinggian yang diperoleh dari data *spotheight*. Data *spotheight* yang diperoleh melalui proses ekstraksi dan interpolasi tersebut digunakan untuk mendapatkan distribusi ketinggian di seluruh wilayah kabupaten

- Sebelah selatan : Kabupaten Indragiri Hilir, Kabupaten Indragiri Hulu, dan Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau
- Sebelah barat : Kabupaten Kampar dan Kota Pekanbaru, Provinsi Riau

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Citra Satelit Sentinel-1A SLC level 1.0 menggunakan data dengan *mode polarisasi* VV dan pada arah *descending* yang telah didownload pada *website* <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>.

Tabel 3. 1 Data Citra Sentinel 1-A

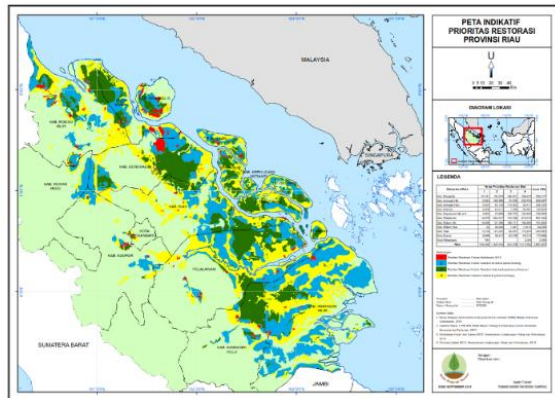
No.	ID Scene	Tanggal	Arah
1.	S1A_IW_SLC__1SDV_20150608T225602_.....0083F6_0193	8-Juni-2015	<i>Descending</i>
2.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160614T225609_.....011F49_36AA	14-Juni-2016	<i>Descending</i>
3.	S1A_IW_SLC__1SDV_20150627T224756_.....008BD1_BB56	27-Juni-2015	<i>Descending</i>
4.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160609T224803_.....011CF2_C48C	9-Juni 2016	<i>Descending</i>
5.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170703T225603_.....01CE81_D903	3-Juli-2017	<i>Descending</i>
6.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160602T225623_.....0119CA_8579	2-Juni-2016	<i>Descending</i>
7.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170703T225628_.....01CE81_8719	3-Juli-2017	<i>Descending</i>
8.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170710T224806_.....01D18B_655B	10-Juli-2017	<i>Descending</i>

- b. Data *Precise Orbit Ephemeride* [AUX_PEORB] yang dipilih sesuai dengan rincian pada Tabel 3.2 didownload pada *website* <http://step.esa.int/auxdata/orbits/Sentinel-1/POEORB/S1A/>

Tabel 3. 2 Data Orbit

No.	ID Data Orbit	Tanggal
1.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150628T062238_V20150607T225944_20150609T005944	8-Juni-2015
2.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160704T121657_V20160613T225943_20160615T005943	14-Juni-2016
3.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150717T122248_V20150626T225944_20150628T005944	27-Juni-2015
4.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160629T121538_V20160608T225943_20160610T005943	9-Juni 2016
5.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_2017723T121520_V20170702T225942_20170704T005942	3-Juli-2017
6.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160622T121546_V20160601T225943_20160603T005943	2-Juni-2016
7.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170723T121520_V20170702T225942_20170704T005942	3-Juli-2017
8.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170730T121546_V20170709T225942_20170711T005942	10-Juli-2017

- c. Data DEM SRTM 30×30 m yang didownload pada website <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen/>
- d. Peta Indikatif Prioritas Restorasi Provinsi Riau tahun 2015 dari Badan Restorasi Gambut



Gambar 3. 2 Peta Indikatif Prioritas Restorasi Provinsi Riau tahun 2015
(Sumber : Badan Restorasi Gambut)

3.2.2 Peralatan

Perangkat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari :

1. Perangkat Keras (*Hardware*) yang disarankan untuk pengolahan metode DInSAR dengan *software* GMTSAR memiliki spesifikasi berupa RAM 8 GB dan *Processor Intel Core i5*
2. Perangkat lunak (*software*)
 - a. Pengolahan Data SAR : GMTSAR, GMT (*Generic Mapping Tools*)
 - b. Penunjang lainnya : ArcGIS

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahap Penelitian

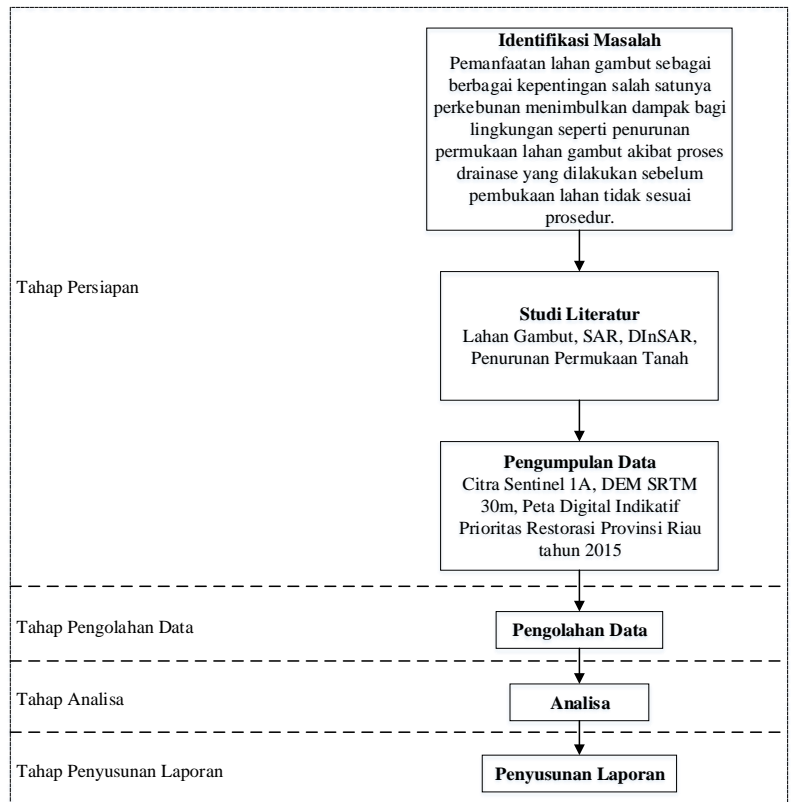
Tahapan Penelitian yang dilakukan dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 3.3. Berikut ini adalah penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan:

a. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan beberapa kegiatan yakni :

i. Identifikasi Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana dampak aktivitas pengelolaan lahan gambut di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Dalam pengelolaan lahan gambut sebagai tanaman pertanian maupun perkebunan, salah satu tahapan yang dilakukan ada yang bertujuan untuk mengatur kadar air agar sesuai dengan kebutuhan tanaman. Tahap tersebut disebut sebagai tahap drainase. Tahap drainase yang tidak sesuai prosedur, dapat memberikan dampak buruk berupa penurunan permukaan lahan gambut bahkan kekeringan yang dapat memicu kebakaran. Pada penelitian ini, ingin diketahui besar nilai penurunan permukaan yang terjadi menggunakan citra satelit Sentinel-1A dan teknologi DInSAR.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahap Penelitian

ii. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari artikel ilmiah yang menunjang penelitian dari sumber *online* (jurnal online, website, dan sebagainya) maupun *offline* (buku). Data-data tersebut dapat berupa referensi mengenai penerapan teknologi DInSAR dalam pemantauan penurunan permukaan

tanah dan pemanfaatan penginderaan jauh aktif dalam pemetaan lahan gambut.

iii. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang terkait dengan penelitian baik data untuk proses pengolahan, analisis dan uji kesesuaian lokasi.

b. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, data Sentinel-1A diolah menggunakan software GMTSAR. Data citra Sentinel-1A sebelumnya sudah memiliki format SLC (*Single Look Complex*) sehingga dapat langsung diproses ke tahap koregistrasi untuk menghasilkan pasangan interferogram. Untuk menghilangkan efek topografi pada interferogram digunakan data DEM 30 meter. Data akhir yang didapatkan merupakan data LOS (*Line of Sight*) yang menunjukkan perubahan posisi berdasarkan sudut perekaman satelit ke objek.

c. Tahap Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil pengolahan data SAR dan data sekunder yang didapatkan.

d. Penyusunan Laporan

Tahap ini merupakan tahapan akhir pada penelitian Tugas Akhir ini untuk menyajikan setiap tahapan yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh dari penelitian ini.

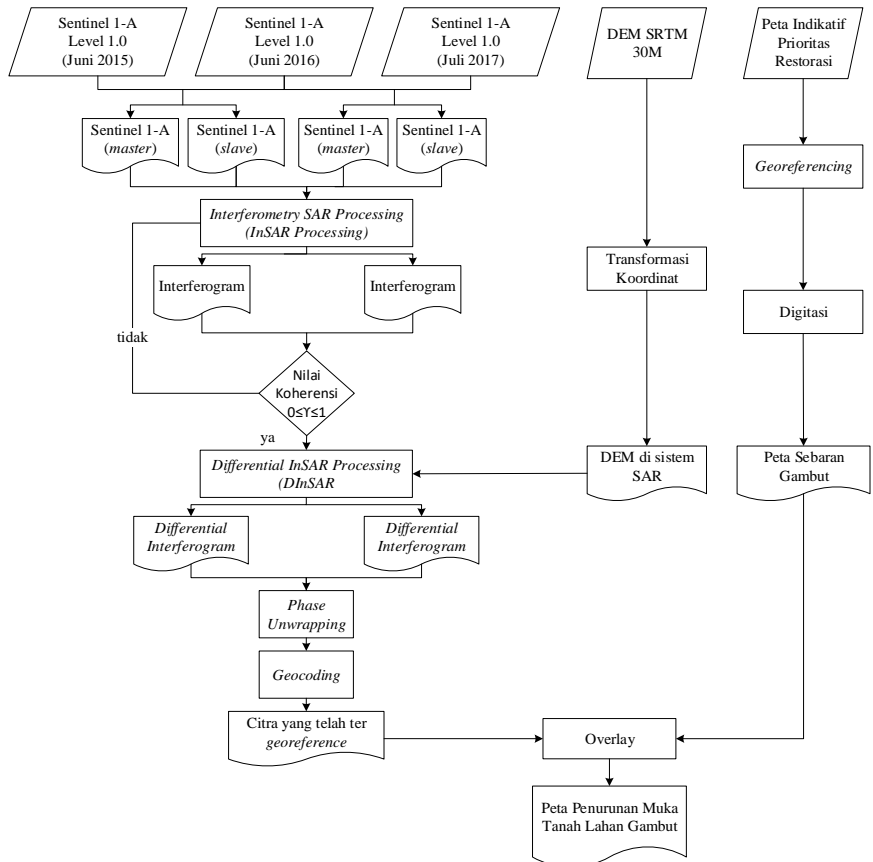
3.3.2 Tahap Pengolahan Data SAR dengan Metode DInSAR secara Umum

Dalam bentuk diagram alir, tahapan pengolahan data SAR dapat dilihat pada Gambar 3.4. Adapun penjelasan tahapan pengolahan data SAR adalah sebagai berikut :

a. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Citra Sentinel 1-A multi temporal dengan waktu perekaman pada Juni 2015, Juni 2016, dan Juli 2017. Data tersebut dipasangkan dengan mendefinisikan masing-masing citra

master dan *slave* hingga didapatkan enam pasang citra SAR yang terdiri dari 3 pasang citra SAR pada bulan Juni 2015-Juli 2015 dan 4 pasang citra SAR pada bulan Juni 2016 dan Juli 2017. Adapun data DEM SRTM yang telah didownload digunakan untuk menghilangkan efek topografi.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan dengan Metode DInSAR

b. *Interferometry SAR Processing*

Pada penelitian ini, metode InSAR dilakukan dengan menggunakan metode *two-pass*, dimana terdapat dua kali pemasangan citra dengan 2 citra *master*. Pada pasangan interferogram pertama digunakan citra *master* pada bulan Juni 2015 dan citra *slave* pada bulan Juni 2016. Sedangkan pada pasangan interferogram kedua digunakan citra *master* pada bulan Juni 2016 dan citra *slave* pada bulan Juli 2017. Dalam proses ini, terdapat beberapa tahap penting yang dilakukan, yakni:

- Proses *coregistrasi* citra SAR

Dalam akuisisi data SAR, dapat terjadi pergeseran *track* yang menyebabkan *pixel* citra satu tidak sejajar dengan *pixel* citra lain dalam satu *path*. Untuk itu, perlu dilakukan registrasi untuk menyejajarkan *pixel* citra *master* dan *slave* (Hanssens, 2001).

- *Interferogram formatting*

Sesuai dengan namanya, tahap ini dilakukan untuk membentuk data interferogram. Dalam tahap ini pula dilakukan proses *Flattening* untuk mengubah bidang proyeksi citra menjadi bidang datar. Dalam proses ini pula ditentukan nilai koherensi citra SAR yang diolah. Citra interferogram menghasilkan beda fase antara citra *master* dan *slave*. Pada proses ini citra yang dihasilkan berhubungan langsung dengan bentuk topografi wilayah penelitian namun masih ada unsur deformasi, noise dan atmosfer. Dan tahapan ini dilakukan pencarian area tampalan (*offset*), *resample parameter*, dan pendataran (*flattening*). Hal ini bertujuan untuk menampalkan citra *slave* terhadap citra *master* serta melakukan proses pendataran dari bidang 3-D menjadi bidang proyeksi 2-D (Febriyanti, 2017).

c. *Differential Interferometry SAR (DInSAR) Processing*

Setelah interferogram berhasil dibentuk, tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan yakni menghilangkan

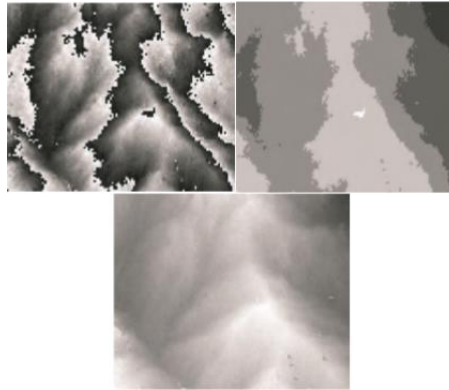
noise yang masih terkandung di dalamnya akibat efek pencitraan ke samping maupun efek dekorelasi lainnya. Tahapan tersebut dilakukan dalam proses DInSAR, dimana didalamnya terdapat proses penghapusan efek topografi dan *Image Filtering* untuk meningkatkan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang masih terkandung akibat proses penjalaran kembali sinyal melalui medium udara di atmosfer (Kusman, 2008 dalam Febriyanti, 2017)

d. Nilai Koherensi

Korelasi atau koherensi merupakan nilai derajat kemiripan dari fase dua citra SAR. Nilai koherensi berkisar antara 0 hingga 1, dimana nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi sama sekali dan 1 menggambarkan nilai korelasi yang sempurna. Nilai koherensi sendiri dimiliki oleh tiap-tiap *pixel* citra. Nilai koherensi yang tinggi ($>0,2$) ideal dalam menggambarkan secara nyata informasi fase. Tidak adanya nilai korelasi disebut juga dengan dekorelasi yang dapat terjadi antara dua pasang citra SAR. Rendahnya nilai koherensi dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan kekuatan dan distribusi hamburan yang biasa disebut *temporal decorrelation*. Adapun variabel yang mempengaruhi diantaranya adalah pertumbuhan tanaman, cuaca dan interval perekaman. Selain itu, faktor lain yang dapat memperburuk nilai koherensi adalah adanya dekorelasi spasial yang dapat terjadi akibat pengaruh *baseline* spasial (jarak antara dua orbit), dan *volume scattering* (Zhou, 2013).

e. *Phase Unwrapping*

Tahapan ini digunakan untuk mengubah informasi fase yang masih berupa nilai absolut dengan membawa masalah ambiguitas. Fase absolut tersebut bernilai antara $-\pi$ hingga $+\pi$. Untuk menghilangkan ambiguitas tersebut, maka fase absolut perlu diubah ke dalam satuan metrik melalui proses *unwrapping*.



Gambar 3. 5 Kiri:Fase Interferometri SAR yang Dihasilkan dari Dua Citra ERS. Kanan : Fase Hasil *Unwrap*. Bawah:Diskontinyu Fase Sudah Dihilangkan. (Sumber: ESA, 2007)

f. Geocoding

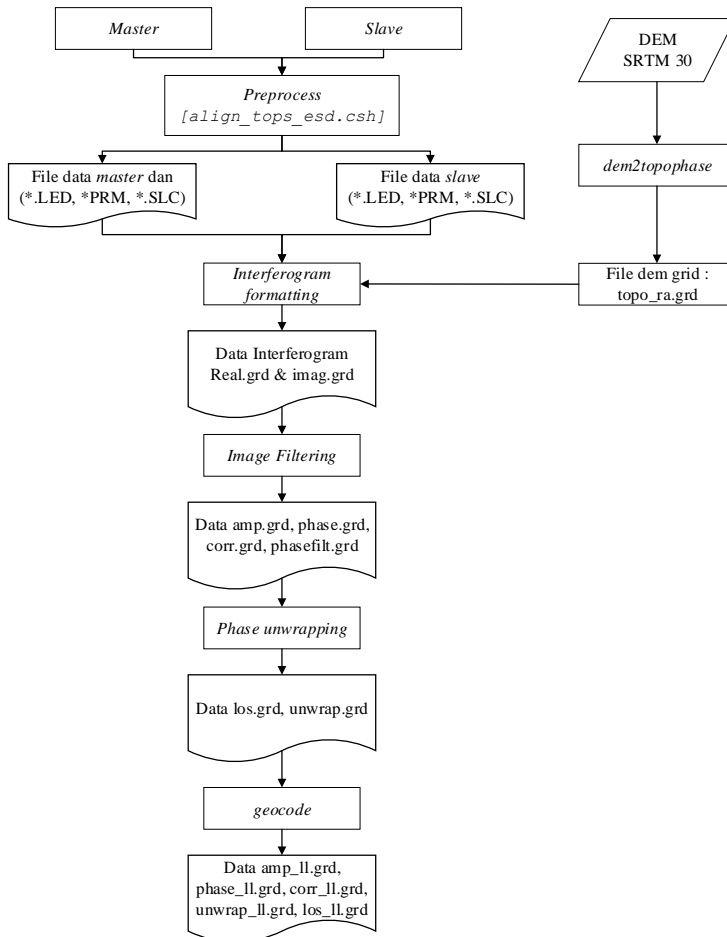
Pada tahap ini dilakukan transformasi koordinat dari koordinat radar (*range/azimuth/height*) menjadi koordinat geografis untuk menyesuaikan koordinat citra interferogram ke dalam sistem kordinat geografis (lintang/bujur).

g. Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil pengolahan data SAR dan data sekunder yang didapatkan.

3.3.3 Tahap Pengolahan Data SAR Menggunakan GMTSAR

Beberapa tahap yang dilakukan dalam pengolahan SAR dengan *software* GMTSAR ditunjukkan pada Gambar 3.6 sebagai berikut :



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Menggunakan GMTSAR

a. Tahap *preprocess*

Pada tahap ini menghasilkan data *Ascii* yang berisi informasi yang akan digunakan pada proses *focus* dan *align* data *Single Look Complex* (SLC) (Sandwell dkk, 2010). Tahap *preprocessing* data SAR terdapat tiga

proses utama yang dilakukan yakni mempersiapkan beberapa SAR yang diperlukan (informasi orbit), mempersiapkan data SLC, *alignment* atau *image co-registration*. Adapun pada penelitian ini, data Sentinel 1-A yang digunakan sudah dalam format SLC sehingga pada tahapan ini hanya dilakukan proses mengekstrak file data SLC yang sudah ada dalam file *.SAFE. Selanjutnya, pada proses *align* dilakukan untuk mencari area tampalan dari dua data SAR. Hasil dari tahap *preprocess* adalah file *.PRM, *.LED, dan *.SLC dari masing-masing citra SAR baik *master* maupun *slave*. Berikut ini adalah contoh *script* pengolahan tahap *pre-process* yang dilakukan :

```
geodinamikal@Helmert:/media/geodinamikal/rul
i/DInSAR/2015_2016_3/raw$ align_tops_esd.csh
sla-iw3-slc-vv-20150627t224758-
20150627t224823-006565-008bd1-006
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150717T122248_V20
150626T225944_20150628T005944.EOF sla-iw3-
slc-vv-20160609t224805-20160609t224830-
011640-011cf2-006
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160629T121538_V20
160608T225943_20160610T005943.EOF dem.grd
```

Perintah tersebut dijalankan dalam folder /raw yang telah dibuat, sebelumnya dilakukan persipan data berupa *linking* beberapa file seperti dem.grd, data *.xml dan *.tiff yang sudah diekstrak dari file *.SAFE serta data orbit (format *.EOF). Adapun format penggunaan perintah adalah sebagai berikut :

```
align_tops_esd.csh citra_master
orbit_master citra_slave orbit_slave
dem.grd
```

b. Tahap *dem2topophase*

Tahapan ini merupakan tahapan untuk memproses data DEM yang telah di download pada *website* <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen/>. Pada penelitian

ini, digunakan data DEM SRTM 30 m dengan sistem koordinat geografis. Secara umum, data radar yang telah didownload menggunakan sistem koordinat radar sehingga proses menggunakan GMTSAR akan diproses menggunakan sistem koordinat radar. Pada tahap ini akan dilakukan dilakukan transformas koordinat DEM yang masih berupa koordinat geografis (lintang/bujur) ke sistem koordinat radar (*range/azimuth*). Proses ini juga akan mengubah data DEM menjadi fase topografi (Sandwell dkk, 2010). Kumpulan *script* perintah tersebut terdapat pada perintah *dem2topo_ra.csh* yang dijalankan di terminal ubuntu.

```
#####
#   parameters for make topo_ra       #
#   - dem2topo_ra.csh                 #
#####
# subtract topo_ra from the phase
# (1 -- yes; 0 -- no)
topo_phase = 1
# if above parameter = 1 then one should
have put dem.grd in topo/
# topo_ra shift (1 -- yes; 0 -- no)
shift_topo = 0
```

c. Tahap *Image Filtering*

Fase *noise* dalam inteferogram dapat menimbulkan masalah dalam proses *phase unwrapping* (meningkatkan residual). Oleh karena itu, noise tersebut harus dihilangkan. Proses *filtering* dilakukan untuk menaikkan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang terkandung dalam fase interferogram. Data yang dihasilkan dari proses ini berupa data interferogram amplitudo (*display_amp.grd*), data interferogram fase (*phase.grd*), dan data koherensi/korelasi(*corr.grd*).

```
#####
#   parameters for make & filter interferograms#
#   - intf.csh                                     #
#   - filter.csh                                   #
#####
# switch the master and slave when doing intf.
# put "1" if assume master as repeat and slave
as reference
# put "0" if assume master as reference and
slave as repeat [Default]
# phase = repeat phase - reference phase
switch_master = 0

# set the filter wavelength in meters (default
is 100m)
# this is the wavelength where the filter has a
gain of 0.5
# the images will be sampled at 1/4 wavelength
or smaller
filter_wavelength = 200

# decimation of images
# decimation control the size of the amplitude
and phase images. It is either 1 or 2.
# Set the decimation to be 1 if you want higher
resolution images.
# Set the decimation to be 2 if you want images
with smaller file size.
#
dec_factor = 2
```

d. Tahap *Phase Unwrapping*

Citra yang dihasilkan dalam proses filtering masih memiliki rentang nilai $-\pi$ hingga $+\pi$. Untuk menghilangkan loncatan fase tersebut perlu dilakukan proses *unwrapping*. Pada proses ini digunakan algoritma *snaphu* untuk menghasilkan fase yang kontinu. Pada tahap ini dilakukan perubahan nilai fase integer (absolut) menjadi *fringes interferometry* (relatif). Adapun beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah *threshold_snaphu* dan *defomax*.

Parameter *threshold_snaphu* digunakan untuk memberikan batasan nilai koherensi *pixel* yang akan diolah, sedangkan *defomax* digunakan untuk mengatur fase loncatan maksimum (Sandwell dkk, 2010)

```
#####
#   parameters for unwrap phase           #
#   - snaphu.csh                          #
#####
# correlation threshold for snaphu.csh
# (0~1)
# set it to be 0 to skip unwrapping.
threshold_snaphu = 0.1

# region to unwrap in radar coordinates
# (leave it blank if unwrap the whole region)
# range/azimuth
# example 1000/21000/5000/46000
region_cut = 0/20000/6700/13528

# mask the wet region (Lakes/Oceans) before
# unwrapping (1 -- yes; else -- no)
switch_land = 1
#
# Allow phase discontinuity in unwrapped
# phase. This is needed for interferograms
# having sharp phase jumps.
# defo_max = 0 - used for smooth unwrapped
# phase such as interseismic deformation
# defo_max = 65 - will allow a phase jump
# of 65 cycles or 1.82 m of deformation at C-
# band
```

e. Tahap *geocode*

Tahap *geocode* dilakukan untuk mengembalikan sistem koordinat hasil pengolahan yang masih dalam sistem koordinat radar ke sistem koordinat geografis (lintang/bujur). Kumpulan perintah *geocode* terdapat pada *geocode.csh* utput dari proses ini yakni setiap file yang diakhiri dengan nama *_ll*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

4.1.1 Panjang Baseline dan Jarak Temporal

Penurunan permukaan lahan gambut yang terjadi merupakan dampak langsung dari drainase lahan gambut (Wibowo, 2009). Dalam pengamatan penurunan lahan gambut yang terjadi pada bulan Juni 2015-Juni 2016 di Kabupaten Pelalawan, Riau cenderung menunjukkan hasil kenaikan lahan, hal ini dapat dipengaruhi oleh panjangnya *baseline temporal* sehingga hasil banyak terpengaruh oleh efek dekorelasi temporal. Efek dekorelasi temporal memiliki pengaruh besar terhadap pengamatan DInSAR di area dengan kerapatan vegetasi tinggi karena cepatnya pertumbuhan tanaman.

Adapun hasil pengamatan DInSAR di area gambut Kabupaten Pelalawan, Riau pada bulan Juni 2016 hingga Juli 2017 menunjukkan hasil penurunan permukaan lahan yang cukup signifikan dibandingkan tahun sebelumnya. Secara umum, peningkatan nilai *perpendicular baseline* akan mempengaruhi dekorelasi sinyal interferometri dan menyebabkan *fringes* tidak dapat terdeteksi. Maka, terdapat nilai maksimum *perpendicular baseline* untuk meningkatkan *signal to noise power ratio*. Pada citra ERS, nilai *baseline* optimum adalah sebesar 300-400 m (*European Space Agency* (ESA), 2007). Berikut ini adalah panjang jarak *baseline* dan jarak temporal pasangan citra:

Tabel 4. 1 Jarak *Baseline* Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016

Pasangan Citra	Interval Waktu	IW	Jaral <i>Baseline</i>
8 Juni 2015-14 Juni 2016	366 hari	1	45,333 m
8 Juni 2015-14 Juni 2016	366 hari	2	45,333 m
27 Juni 2015-9 Juni 2016	342 hari	3	118,635 m

Tabel 4. 2 Jarak *Baseline* Pasangan Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017

Pasangan Citra	Interval Waktu	IW	Jarak <i>Baseline</i>
14 Juni 2016-3 Juli 2017	379 hari	1	71,096 m
2 Juni 2016-3 Juli 2017	391 hari	1	72,667 m
2 Juni 2016-3 Juli 2017	391 hari	2	69,729 m
9 Juni 2016-10 Juli 2017	391 hari	3	20,483 m

Nilai jarak *baseline* diperoleh melalui proses `preproc_batch_tops.csh` yang di *run* dalam folder *raw*. Data utama yang diperlukan selain data *dem*, *orbit*, *.tiff dan *.xml yang sebelumnya sudah ada dalam folder *raw* adalah *data.in* dengan format *nama_citra:nama_orbit* seperti contoh dibawah ini :

```
S1A-IW1-SLC-VV-20150608.....001:S1A_***EOF
S1A-IW1-SLC-VV-20160614.....001:S1A_***EOF
```

Data diatas disimpan dalam file format *.txt dengan nama *data.in*. Adapun untuk menjalankannya, ketikkan perintah seperti dibawah ini di terminal ubuntu:

```
preproc_batch_tops.csh data.in dem.grd 1
```

Hasil dari proses tersebut berupa file *baseline.ps* dan *align_table.ra* yang berisi informasi mengenai *precise geometric alignment*.

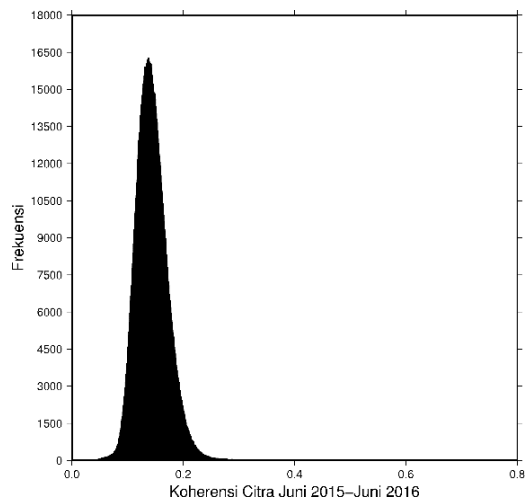
4.1.2 Nilai Koherensi Pasangan Citra

Nilai koherensi yang tinggi ($>0,2$) ideal dalam menggambarkan secara nyata informasi fase. Sedangkan nilai korelasi kurang dari 0,1 memberikan nilai fase yang kurang baik. Tidak adanya nilai korelasi disebut juga dengan *dekorelasi* yang dapat terjadi antara dua pasang citra SAR dengan waktu berbeda. Rendahnya nilai koherensi dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan kekuatan dan distribusi hamburan yang biasa disebut *temporal deccorelation*. Adapun variabel yang mempengaruhi diantaranya adalah pertumbuhan tanaman, cuaca dan interval perekaman. Selain itu, faktor lain

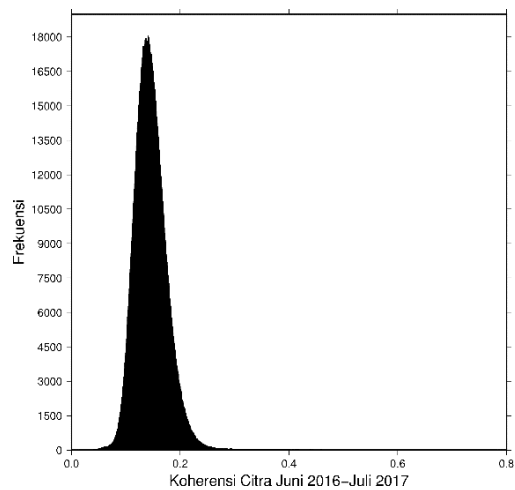
yang dapat memperburuk nilai koherensi adalah adanya dekorelasi spasial yang dapat terjadi akibat pengaruh baseline spasial (jarak antara dua orbit), dan *volume scattering* (Zhou, 2013).

Dalam penelitian Zhou di tahun 2013, pengamatan menggunakan data SAR (*C-Band*) di area dengan kerapatan vegetasi tinggi seperti lahan gambut hanya dapat menghasilkan nilai koherensi $<0,2$. Dimana hasil tersebut menunjukkan rendahnya nilai koherensi di area gambut dalam pengamatan dengan menggunakan data SAR terutama *C-Band* seperti Sentinel 1-A. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan hasil proses *co-registrasi* pada penelitian .

Dari hasil proses *co-registrasi* yang dilakukan, pasangan citra Sentinel-1A yang digunakan untuk mengamati lahan gambut pada penelitian ini menunjukkan nilai koherensi yang tergolong rendah. Nilai koherensi pada *pixel* rata-rata bernilai pada rentang 0,1 hingga 0,2. Nilai koherensi yang dihasilkan per *pixel* menunjukkan frekuensi koherensi tertinggi bernilai $<0,2$. Sehingga, untuk pengamatan lahan gambut pada penelitian ini menggunakan batas koherensi sebesar 0,1. Koherensi yang rendah ditunjukkan pada daerah gambut dapat disebabkan oleh panjangnya interval waktu. Hal ini terjadi karena tumbuhan (gambut) cenderung mengalami pertumbuhan yang cepat dan adanya perubahan parameter lingkungan. Sehingga menimbulkan *noise* akibat efek dekorelasi temporal.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Distribusi Koherensi (a) Pasangan Citra tahun 2015-2016 dan (b) Pasangan Citra tahun 2016-2017

4.1.3 Interferogram Pasangan Citra

Panjang gelombang sensor Sentinel 1-A (*C-Band*) tergolong rendah dibandingkan sensor *L-Band*. Hal tersebut mengakibatkan Citra *C-Band* cenderung lebih sulit diaplikasikan di area dengan vegetasi tinggi (*rural area*) (Taekuchi, 2002). Citra Sentinel-1A (*C-Band*) memiliki sifat tidak mampu menembus pohon sehingga sinyal dipantulkan kembali dari atas kanopi pohon dan hanya sedikit sinyal yang dipantulkan dari batangnya (Zhou, 2013). Kondisi atmosfer daerah penelitian yang merupakan daerah ekuator sangat mempengaruhi keberadaan efek *noise* dan *orbit* yang dapat menyebabkan penurunan kualitas data SAR yang berdampak pada sulitnya proses *unwrapping* yang dilakukan. Keberadaan *noise* dalam citra Interferogram dapat disebabkan oleh sistem temperatur, *overlay* maupun ketidaksesuaian pada saat proses penampalan (Qing, 2011). Interferogram SAR dihasilkan dari proses perkalian silang setiap *pixel* citra SAR pertama (*master*) dengan pasangan citra SAR kedua (*slave*). Sehingga, amplitudo interferogram yang dihasilkan adalah amplitudo dari citra *master* yang digandakan oleh citra *slave*, adapun fase yang dihasilkan merupakan beda fase dari kedua citra (European Space Agency (ESA), 2007).

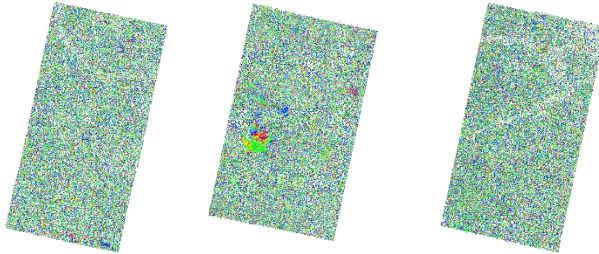
Dari hasil interferogram, pasangan citra di daerah penelitian tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan berupa *apparent fringes*. Hal ini menunjukkan tidak adanya perubahan yang terjadi akibat adanya suatu fenomena deformasi seperti yang biasa ditunjukkan pada fenomena erupsi gunung berapi, maupun gempa bumi.

4.1.4 Interferogram Hasil Filtering

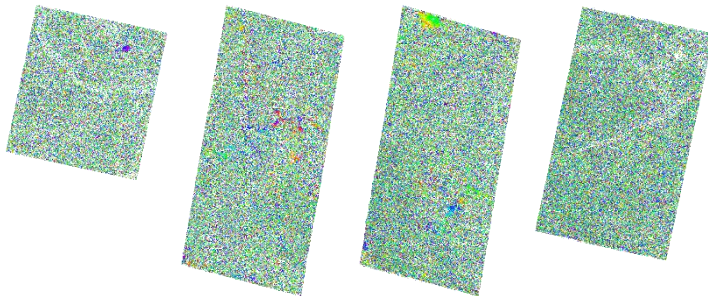
Proses *filtering* dilakukan untuk menaikkan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang terkandung dalam fase interferogram. Tahap ini dilakukan untuk mengeliminasi *noise* yang terkandung di dalam citra interferogram akibat dari penjalaran sinyal kembali ke medium udara atau atmosfer dan *noise* akibat efek dekorelasi temporal maupun kesalahan

orbit yang menurunkan kualitas citra interferogram. Proses ini bertujuan untuk menaikkan nilai akurasi dan mempertajam *phase* maupun *fringes* yang telah terbentuk. *Fringes* merupakan hasil dari gradien fase yang terbentuk dari pasangan citra SAR.

Hasil dari proses ini akan menghasilkan citra dengan koordinat radar dengan satuan radian. Di dalamnya, masih terdapat ambiguitas yang disebabkan informasi citra yang masih bernilai $-\pi$ sampai $+\pi$ (loncatan nilai fase tinggi). Untuk menghilangkan nilai ambiguitas tersebut perlu dilakukan proses *phase unwrapping*.



Gambar 4. 2 Interferogram Hasil *Filtering* Pasangan Citra
Bulan Juni 2015-Juni 2016

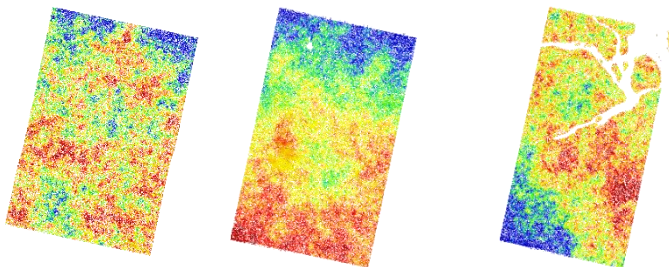


Gambar 4. 3 Interferogram Hasil *Filtering* Pasangan Citra
Bulan Juni 2015-Juli 2017

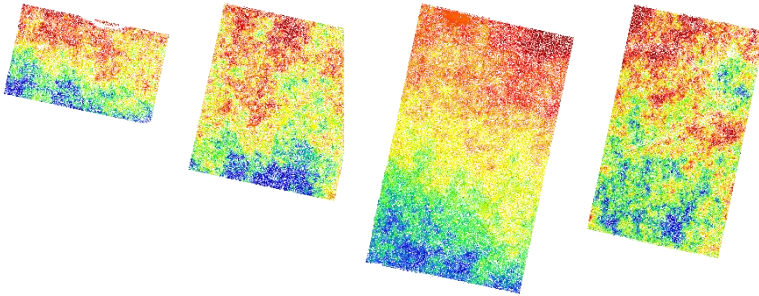
Berdasarkan tampilan interferogram pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, *fringes* yang terbentuk antara pasangan citra tahun 2015-2016 dan tahun 2016-2017 tergolong sedikit. Tidak terbentuknya *fringes* pada pasangan citra interferogram dapat disebabkan karena efek *gemetric decorelation*. Efek tersebut terjadi karena adanya *spectral shift* akibat perbedaan *incidence angles* antara dua sensor citra SAR. Jika sensor tidak pada posisi yang sama dan merekam dengan sudut perekaman yang sama, tidak akan ada beda fase yang terbentuk pada pasangan citra. Sehingga, *fringes* tidak dapat terbentuk secara sempurna (Hanssens, 2001).

4.1.5 Interferogram Hasil Phase Unwrapping

Interferogram hasil *flattening* menimbulkan ambiguitas pengukuran terhadap ketinggian permukaan tanah karena lompatan fase sebesar 2π pada setiap siklus fase interferometri. Perbedaan antara dua titik pada *flattened interferogram* menghasilkan perbedaan ketinggian yang sesungguhnya setelah nilai ambiguitas (integer) dihapus (European Space Agency (ESA), 2007). Proses pengubahan nilai integer (absolut) menjadi *fringes interferometry* (relatif) disebut *phase unwrapping*. Hasil dari *phase unwrapping* ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibawah ini :



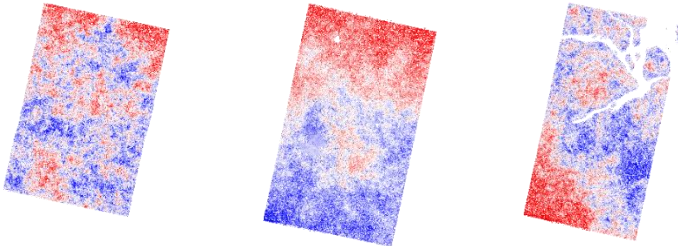
Gambar 4. 4 Interferogram Hasil Proses Phase Unwrapping Pasangan Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016



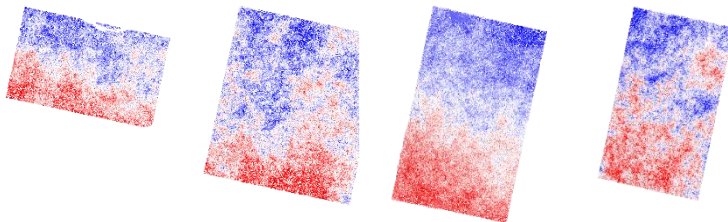
Gambar 4. 5 Interferogram Hasil Proses Phase Unwrapping Pasangan Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017

4.1.6 Interferogram hasil LOS Displacement

Hasil dari *Line Of Sight* (LOS) merupakan nilai deformasi yang sudah dalam satuan milimeter (mm) sedangkan hasil dari *phase unwrapping* masih dalam satuan radian.



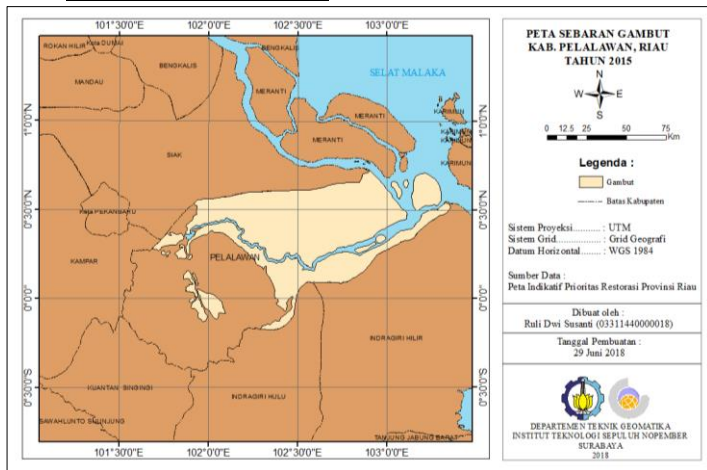
Gambar 4. 6 Interferogram *Line Of Sight* (LOS) Citra Bulan Juni 2015-Juni 2016



Gambar 4. 7 Interferogram *Line Of Sight* (LOS) Citra Bulan Juni 2016-Juli 2017

4.2 Lokasi Lahan Gambut dan Jenis Tutupan Lahan

4.2.1 Lokasi Lahan Gambut

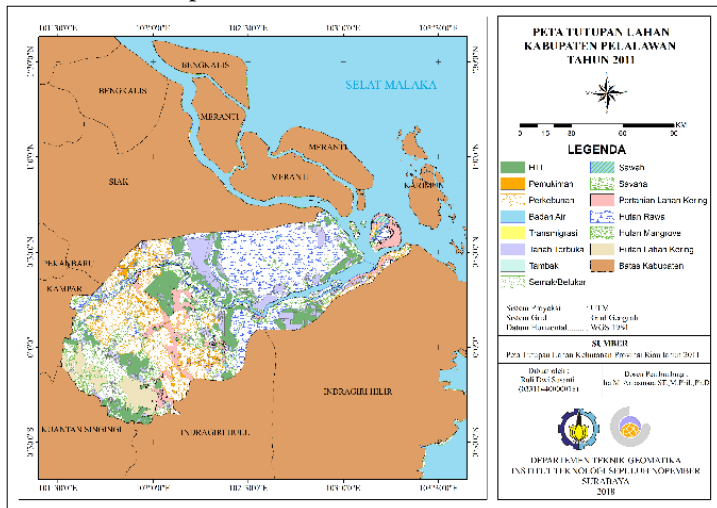


Gambar 4. 8 Peta Sebaran Gambut Kabupaten Pelalawan, Riau tahun 2015

Pada proses penyesuaian lokasi gambut, digunakan peta hasil digitasi yang bersumber dari Peta Indikatif Prioritas Restorasi yang diterbitkan Badan Restorasi Gambut tahun 2015. Digitasi dilakukan menggunakan *software* ArcGIS. Sebelum dilakukan digitasi, terlebih dahulu dilakukan proses *georeferencing* untuk mendefinisikan sistem koordinat peta. Dari hasil proses *georeferencing* diperoleh RMS error sebesar $2,22 \times 10^{-16}$, dimana nilai tersebut masuk dalam kategori sesuai karena kurang dari 1. Selanjutnya, data shp dari persebaran gambut yang telah didigitasi tersebut diubah ke dalam format kml yang kemudian diubah lagi ke dalam format *.txt untuk diplot dengan menggunakan *software* GMT. Dari hasil plotting tersebut akan ditampilkan dengan hasil pengolahan DInSAR untuk mendapatkan area lahan gambut di Kabupaten Pelalawan, Riau yang mengalami deformasi.

Berdasarkan data yang diperoleh dari proses digitasi Peta Indikatif Restorasi Provinsi Riau, luas lahan gambut yang terdapat di Kabupaten Pelalawan adalah sekitar 5.542 km² atau sebesar 554.200 ha. Adapun lahan gambut tersebar di beberapa kecamatan antara lain Kecamatan Teluk Meranti, Kecamatan Kuala Kampar, Kecamatan Kerumutan dan Kecamatan Pelalawan. Menurut data Peraturan Pemerintah Kabupaten Pelalawan tahun 2014, sebagian besar hutan rawa di Kabupaten Pelalawan diidentifikasi sebagai kawasan lahan gambut. Selain itu, lahan gambut di Kabupaten Pelalawan juga teridentifikasi ke dalam beberapa kawasan yakni Kawasan Budidaya Holtikultura, Perkebunan, Hutan Tanaman Industri dan Kawasan Konservasi (Mubekti, 2011).

4.2.1 Jenis Tutupan Lahan

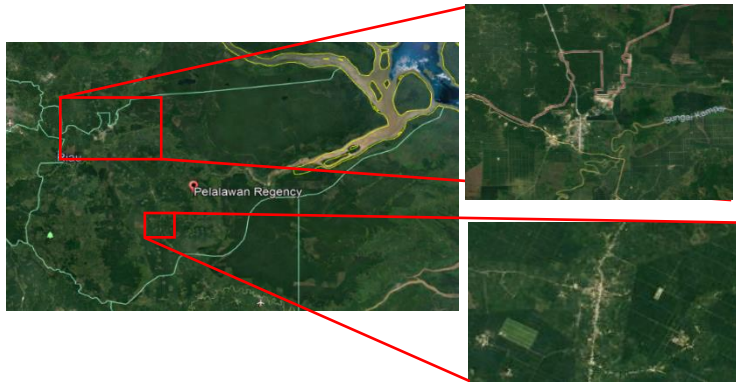


Gambar 4. 9 Peta Tutupan Lahan Kabupaten Pelalawan Tahun 2011

Berdasarkan Peta Tutupan Lahan Provinsi Riau Tahun 2011, sebagian besar wilayah Kabupaten Pelalawan didominasi oleh hutan rawa. Hampir 50% wilayah Kabupaten Pelalawan merupakan hutan rawa dengan total luas sebesar 641.801,97 ha (BPS, 2017). Selain itu, tutupan lahan di wilayah Kabupaten Pelalawan juga didominasi oleh Hutan Tanaman Industri (HTI) dan Perkebunan.

a. Pemukiman

Luas pemukiman di Kabupaten Pelalawan menurut Data Badan Pusat Statistik tahun 2016 adalah sebesar 4.591,45 ha. Angka tersebut tergolong rendah dibandingkan luas area vegetasi yang terdapat di wilayah Kabupaten pelalawan. Pemukiman terluas terdapat di Kecamatan Pangkalan Kerinci. Pangkalan Kerinci merupakan Ibukota Kabupaten Pelalawan.



Gambar 4. 10 Persebaran Pemukiman di Kabupaten Pelalawan
(Sumber: *Google Earth*)

b. Hutan

Berdasarkan klasifikasi penggunaan tanah, terdapat beberapa jenis hutan yang terdapat di Kabupaten Pelalawan, diantaranya hutan akasia, hutan bakau, hutan belukar, hutan

lebat dan hutan rawa. Adapun luas persebarannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Luas Hutan di Kabupaten Pelalawan

Lokasi	Luas (ha)				
	Hutan Akasia	Hutan Bakau	Hutan Belukar	Hutan Lebat	Hutan Rawa
Langgam	0	0	8.272,84	53.705,60	22.365,15
Pangkalan Kerinci	0	0	881,75	0	3.842,65
Bandar Sei Kijang	0	0	0	0	0
Pangkalan Kuras	1.788,09	0	2.388,28	33.540,13	15.277,91
Ukui	0	0	1.183,12	65.314,91	23.919,52
Pangkalan Lesung	0	0	7.223,92	45,96	1.101,00
Bunut	15.641,87	0	6.975,12	0	2.253,25
Pelalawan	533,03	0	8.091,64	0	107.453,89
Bandar Petalangan	551,39	0	8.573,44	0	5.929,54
Kuala Kampar	0	61,23	3.043,47	0	46.527,54
Kerumutan	0	0	2.898,48	0	53.581,74
Teluk Meranti	0	0	9.991,94	0	359.909,78
Total	18.514,38	61,23	59.524,0	52.606,60	641.801,97

c. Tanaman Pangan, Holtikultura, dan Perkebunan

Terdapat beberapa jenis tanaman yang menjadi penghidupan masyarakat Kabupaten Pelalawan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2016, luas area jenis tutupan lahan berupa sawah di Kabupaten Pelalawan adalah sebesar 7.385 ha dengan jenis sawah semuanya non irigasi. Adapun tanaman holtikultura yang menjadi komoditas di Kabupaten Pelalawan seperti kacang panjang, cabe, terong, ketimun dan kangkung luasnya hanya sebesar 759 ha. Adapun yang terluas yakni tanaman perkebunan dengan total area sebesar 162.562,25 ha.

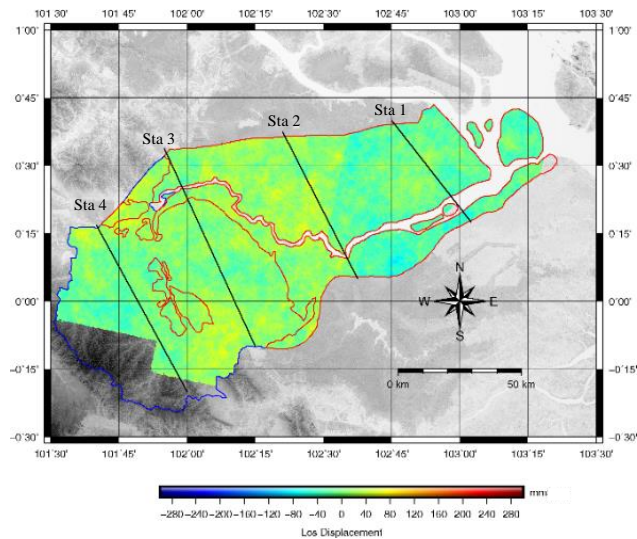
4.3 Analisis Hasil Pengolahan DInSAR

Berdasarkan hasil pengolahan dengan metode DInSAR, pola berbeda ditunjukkan dari data pengolahan pada pasangan citra Juni 2015-Juni 2016 dan Juni 2016-Juli 2017. Pada pasangan citra Juni 2015-Juni 2016, menunjukkan penurunan terbesar sebesar 109,113 mm pada koordinat 0°8'34" LU 102°46'20" BT dan kenaikan permukaan maksimum sebesar 108,089 mm pada koordinat 0°39 '10" LU 102°11'42" BT. Kedua titik tersebut berada

pada area lahan gambut sesuai data dari Peta Indikatif Prioritas Restorasi tahun 2015 dari Badan Restorasi Gambut.

Sedangkan hasil DInSAR pada bulan Juni 2016-Juli 2017, penurunan permukaan lahan tertinggi yang terjadi adalah sebesar 251,842 mm pada koordinat $0^{\circ}20'06''$ LU $101^{\circ}51'26''$ BT. Adapun kenaikan permukaan lahan yang terjadi adalah sebesar 108,420 mm pada koordinat $-0^{\circ}18'30''$ LS $101^{\circ}44'30''$ BT. Pada area gambut sendiri, kenaikan terbesar adalah sebesar 73,715 mm pada koordinat $0^{\circ}09'02''$ LU $102^{\circ}50'30''$ BT.

4.4 Analisis Penurunan Lahan Tahun 2015-2016

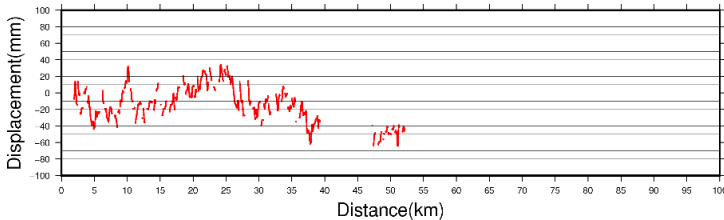


Gambar 4. 11 Desain *Cross Section* Pasangan Citra
Juni 2015-Juni 2016

Untuk menganalisis penurunan permukaan lahan di Kabupaten Pelalawan, Riau digunakan analisis menggunakan *cross section* untuk mengetahui lebih detail grafik penurunan permukaan lahan. Dalam penelitian ini, dibuat 4 station *cross*

section yang melintang dari arah Utara ke Selatan. Dimana 2 dari 4 station berada di lahan gambut (*station 1* dan *station 2*) dan 2 diantaranya (*station 3* dan *station 4*) terdapat di daerah non gambut. Titik 0 km berada di sebelah Utara, potongan melintang membentang dari arah utara ke selatan. Adapun penjelasan grafik hasil *cross section* akan dijelaskan pada penjelasan dibawah ini :

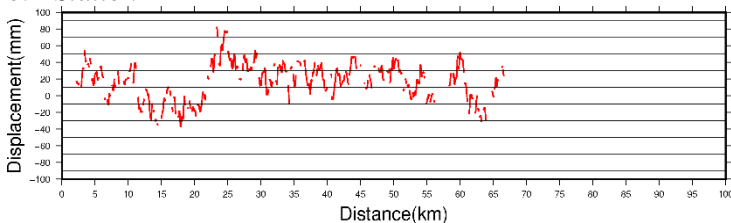
a. *Station 1*



Gambar 4. 12 Grafik *Cross Section Station 1* DInSAR Juni 2015-Juni 2016

Hasil pengolahan dengan metode DInSAR pada pasangan citra bulan Juni 2015 dan Juni 2016 menunjukkan bahwa daerah pada *station 1* yang merupakan area gambut mengalami penurunan paling tinggi sebesar 64,257 mm dengan lokasi di dekat perairan. Sedangkan pada area yang menjauhi perairan pola deformasi menunjukkan kenaikan dengan nilai maksimum sebesar 34,224 mm.

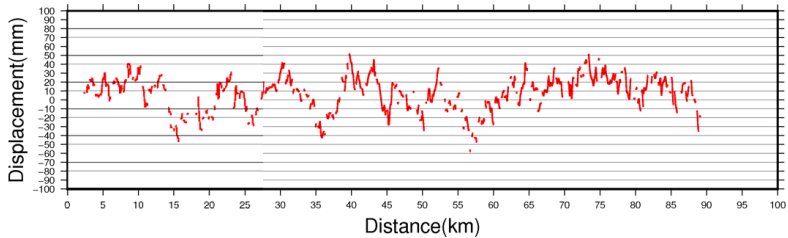
b. *Station 2*



Gambar 4. 13 Grafik *Cross Section Station 2* DInSAR Juni 2015-Juni 2016

Hasil pengolahan dengan metode DInSAR pada pasangan citra bulan Juni 2015 dan Juni 2016 menunjukkan bahwa daerah pada *station 2* cenderung mengalami kenaikan dengan nilai kenaikan tertinggi sebesar 36,463 mm. Adapun nilai penurunan tertinggi yang terjadi sebesar 49,862 mm.

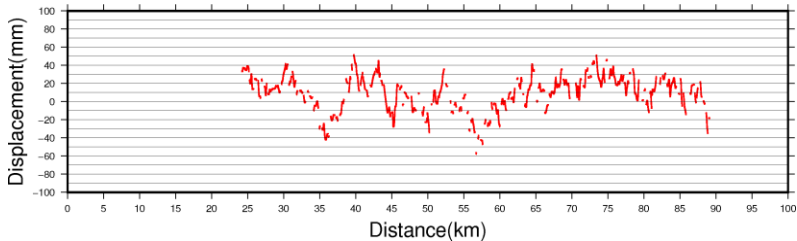
c. *Station 3*



Gambar 4. 14 Grafik *Cross Section Station 3* DInSAR Juni 2015-Juni 2016

Berdasarkan hasil pengolahan DInSAR pasangan citra bulan Juni 2015 dan Juni 2016, menunjukkan bahwa terjadi penurunan lahan yang cukup tinggi yakni dengan nilai maksimum mencapai 58,013 mm dan kenaikan tertinggi sebesar 51,692 mm. Adapun sebagian kecil lahan gambut di sepanjang *station 3* rata-rata mengalami penurunan dan kenaikan.

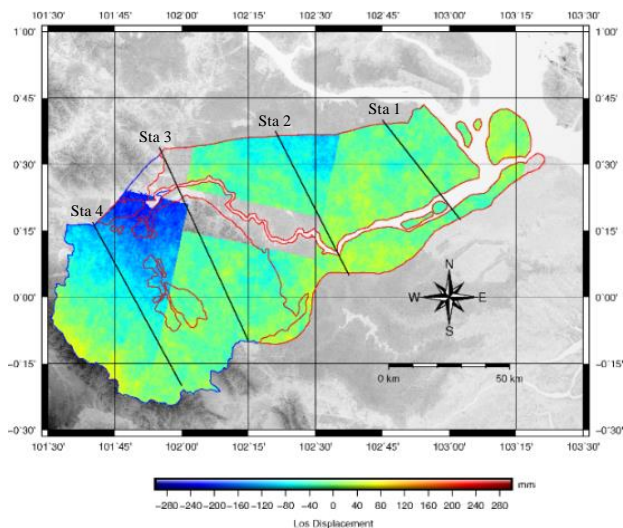
d. *Station 4*



Gambar 4. 15 Grafik *Cross Section Station 4* DInSAR Juni 2015-Juni 2016

Berdasarkan hasil pengolahan DInSAR pasangan citra bulan Juni 2015 dan Juni 2016, menunjukkan bahwa terjadi penurunan lahan dengan nilai maksimum mencapai 44,956 mm dan kenaikan tertinggi sebesar 45,006 mm. Penurunan permukaan lahan dan kenaikan permukaan lahan yang terjadi sepanjang tahun 2015 dan 2016 di *station 4* tergolong cukup fluktuatif dengan pola acak.

4.5 Analisis Penurunan Lahan Tahun 2016-2017

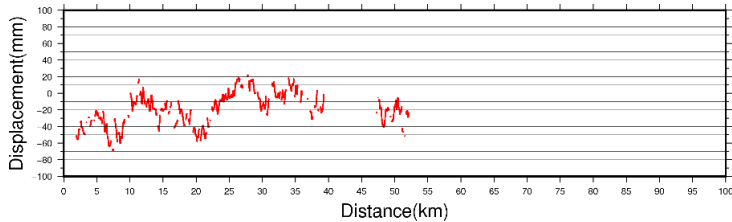


Gambar 4. 16 Desain *Cross Section* Pasangan Citra Juni 2016-Juli 2017

Untuk mengetahui pola penurunan permukaan lahan pada pasangan citra bulan Juni 2016-Juli 2017, digunakan metode *cross section* yang sama dengan metode analisis pasangan citra bulan Juni 2015-Juni 2017. *Station* yang digunakan sebagai area sampel sama dengan pasangan citra sebelumnya agar dapat digunakan dalam tahapan analisis melalui perbandingan. Analisis menggunakan perbandingan digunakan untuk mengetahui pola

penurunan permukaan lahan dan kenaikan permukaan lahan dari dua interval pengamatan dengan waktu berbeda.

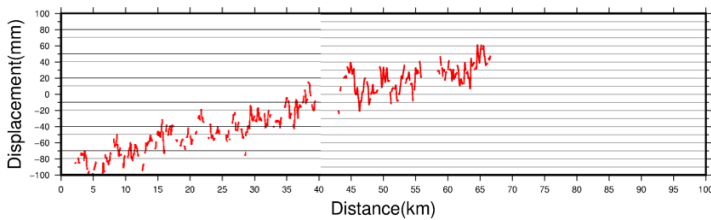
a. *Station 1*



Gambar 4. 17 Grafik *Cross Section Station 1* DInSAR Juni 2016- Juli 2017

Hasil pengamatan penurunan permukaan lahan pada *station 1* menggunakan teknologi DInSAR menunjukkan pola penurunan yang cukup tinggi dibandingkan kenaikan permukaan lahan yang terjadi. Daerah sepanjang *station 1* yang notabene adalah lahan gambut, rata-rata mengalami penurunan permukaan. Adapun besar penurunan permukaan tertinggi yakni sebesar 69, 87 mm sedangkan kenaikan permukaan lahan tertinggi adalah sebesar 22,31 mm.

b. *Station 2*

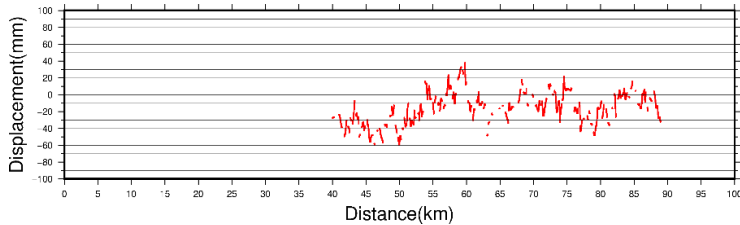


Gambar 4. 18 Grafik *Cross Section Station 2* DInSAR Juni 2016- Juli 2017

Hasil pengolahan dengan metode DInSAR untuk pasangan bulan Juni 2016-Juli 2017 di sepanjang *station 2*, dapat disimpulkan semakin ke tenggara laju penurunan permukaan cenderung lebih kecil bahkan hingga terjadi kenaikan permukaan

tanah (*deflasi*). Besar penurunan permukaan terbesar yakni 110,718 mm, sedangkan besar kenaikan permukaan tanah terbesar yakni sebesar 60,87 mm.

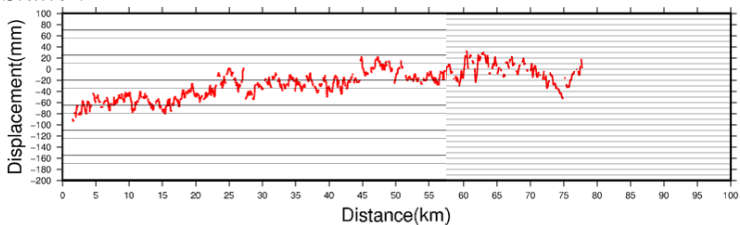
c. *Station 3*



Gambar 4. 19 Grafik *Cross Section Station 3* DInSAR Juni 2016- Juli 2017

Dari hasil pengamatan penurunan permukaan lahan dengan metode DInSAR pada pasangan citra bulan Juni 2016- Juli 2017 menunjukkan rata-rata daerah disepanjang *station 3* mengalami penurunan permukaan. Daerah sepanjang *station 3* rata-rata bukanlah daerah gambut, hanya sebagian kecil yang merupakan lahan gambut. Lahan gambut di sepanjang *station 3* tidak dapat diamati karena wilayah tersebut tidak dapat *tercover* citra SAR. Adapun nilai penurunan permukaan tertinggi di sepanjang *station 3* adalah sebesar 60,23 mm dan kenaikan permukaan tertinggi sebesar 37,78 mm

d. *Station*

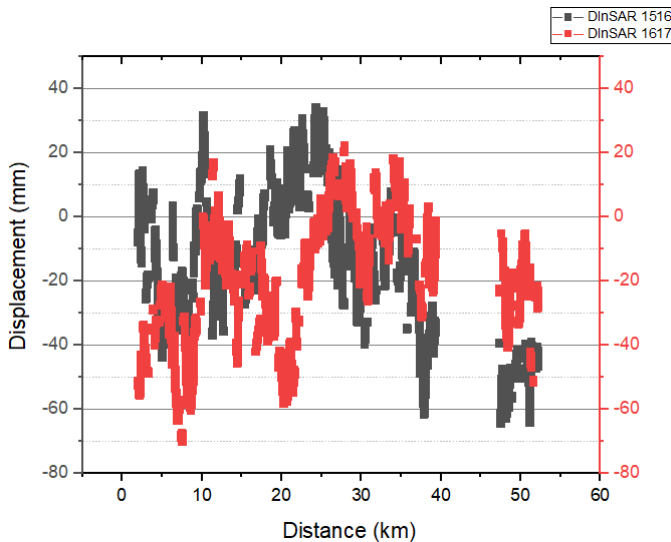


Gambar 4. 20 Grafik *Cross Section Station 4* DInSAR Juni 2016- Juli 2017

Berdasarkan hasil pengolahan dengan metode DInSAR pasangan citra bulan Juni 2016-Juli 2017, daerah disepanjang *station 4* rata-rata mengalami penurunan permukaan dengan nilai yang cukup besar, begitu pula dengan pola kenaikan permukaan yang ditunjukkan. Dari informasi pada Gambar 4.20 dilihat bahwa kenaikan dan penurunan permukaan lahan yang terjadi di daerah sepanjang *station 4* cukup merata. Adapun besar penurunan permukaan tertinggi yang terjadi adalah sebesar 158,40 mm. Sedangkan besar kenaikan permukaan lahan tertinggi adalah sebesar 32,10 mm.

4.6 Perbandingan Hasil Cross Section

a. *Station 1*

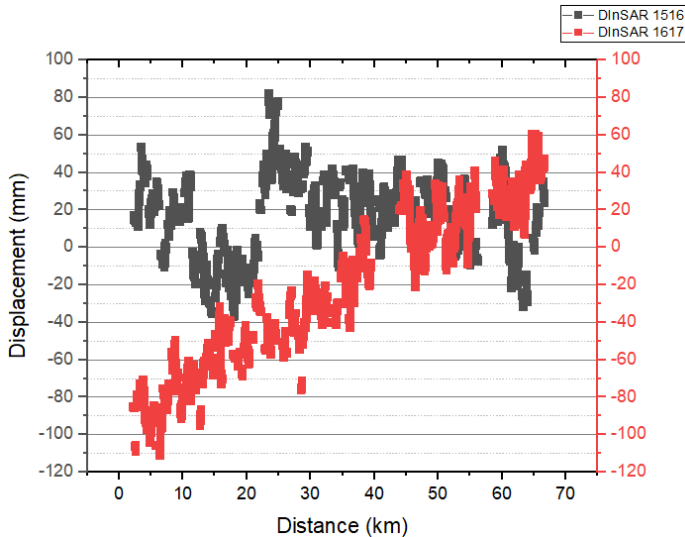


Gambar 4. 21 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (*station 1*)

Berdasarkan hasil pengamatan dengan metode DInSAR, lahan di sepanjang *station 1* sesuai Gambar 4.21, cenderung mengalami deformasi dengan pola yang konsisten. *Station 1* terletak di Kecamatan Teluk Meranti yang

merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Pelalawan dengan lahan gambut tertuas. Area di wilayah *station 1* dipisahkan oleh Sungai Kampar yang mengalir dari arah barat ke timur. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mubekti (2011), *station 1* yang berada di Utara Sungai Kampar didominasi oleh area yang termasuk ke dalam Kawasan Konservasi. Sedangkan sebagian kecil wilayah di Selatan Sungai Kampar termasuk ke dalam Kawasan Budidaya Pertanian Pangan, Hortikultura, Perkebunan dan Hutan Tanaman Industri (HTI).

b. *Station 2*

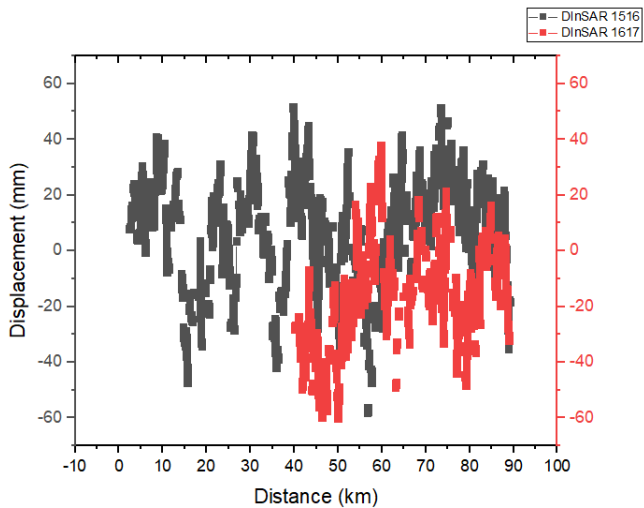


Gambar 4. 22 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (*station 2*)

Dari data pengolahan DInSAR di sepanjang *station 2*, menunjukkan perbedaan pola deformasi yang cukup signifikan yang terbentuk antara pasangan citra Juni 2015-Juni 2016 dan pasangan citra Juni 2016-Juli 2017. *Station 2* terletak di

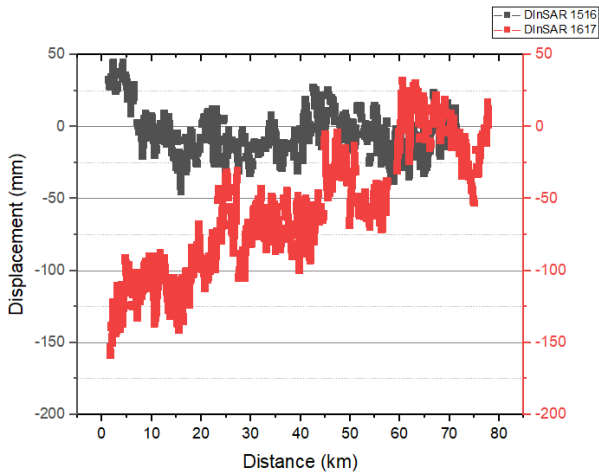
Kecamatan Pelalawan dan Kecamatan Kerumutan. Pola deformasi pada titik 0-20 km yang berada di Kecamatan Pelalawan cenderung bertolak belakang. Adapun berdasarkan penelitian Mubekti (2011), daerah tersebut sebagian besar termasuk ke dalam Kawasan Budidaya Perkebunan dan HTI.

c. *Station 3*



Gambar 4. 23 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (*station 3*)

Berdasarkan hasil *cross section* data pengolahan dengan metode DInSAR, di sepanjang *station 3* daerah gambut hanya dapat diamati dari data DInSAR bulan Juni 2015-Juni 2016 karena wilayah gambut pada data DInSAR bulan Juni 2016-Juli 2017 tidak dapat *tercover* secara sempurna. Dari grafik Gambar 4.23, dapat dilihat pola penurunan permukaan lahan (*deflasi*) maupun kenaikan permukaan lahan (*inflasi*) yang terbentuk cenderung terus mengalami penurunan. Daerah di *station 3* didominasi oleh area perkebunan yang memiliki sifat cenderung cepat mengalami perubahan

d. *Station 4*

Gambar 4. 24 Perbandingan Pola Penurunan dan Kenaikan Permukaan Lahan antar 2 Pasang Interferogram (*station 4*)

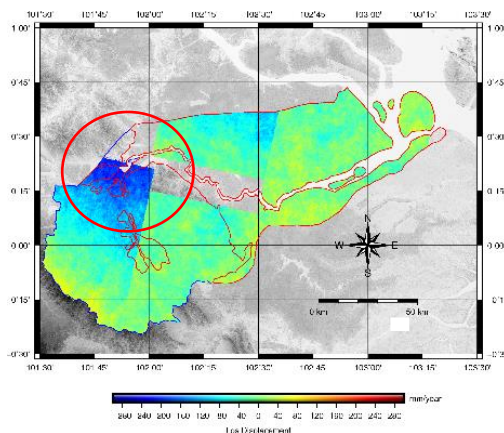
Data grafik pada Gambar 4.24 menunjukkan hasil yang kolinier dari dua pengamatan dengan metode DInSAR, perbedaan pola yang cukup signifikan ini dapat terjadi akibat efek dekorelasi yang terjadi pada salah satu pasangan citra. Efek dekorelasi tersebut dapat muncul akibat ketidakseuaian kondisi objek (terkait *volume scattering*) dengan sistem perekaman yang telah terinstall di satelit atau kesalahan orbit satelit seperti perubahan kecepatan perekaman. Selain itu lokasi *station 4* yang didominasi vegetasi jenis hutan mangrove, Hutan Tanaman Industri (HTI) dan pekebunan dapat meningkatkan efek dekorelasi temporal.

4.7 Analisis Diskontinuitas Pola Penurunan Permukaan Lahan

Diskontinuitas pola penurunan permukaan lahan di Kabupaten Pelalawan dapat disebabkan berbagai faktor yang berasal dari wahana satelit maupun kondisi lingkungan. Beberapa

faktor yang diindikasikan menjadi penyebab munculnya diskontinuitas tersebut diantaranya :

1. Lokasi penelitian berada diantara lintang 0° (daerah katulistiwa), hal ini mempengaruhi data hasil perekaman akibat aktivitas penguapan (evaporasi) di lapisan troposfer yang cukup tinggi. Masalah tersebut menjadi salah satu kelemahan dalam teknologi InSAR terutama pada aplikasi *repeat-pass* InSAR seperti yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini terjadi karena gelombang elektromagnetik mengalami *delay* (melemah) ketika melewati lapisan atmosfer (terutama troposfer dan ionosfer). Berdasarkan penelitian Zebker dkk (2008) dalam Ding dkk (2008), terjadi perubahan spasial dan temporal sebesar 20% relatif terhadap kelembaban troposfer yang dapat mengakibatkan munculnya error dalam pengukuran deformasi sebesar 10-14 cm dan 80-290 m error pada aplikasi pemetaan topografi dengan jarak *baseline* antara 100 m-400 m pada citra SIR-C/X-SAR.
2. Jenis tutupan lahan di lokasi penelitian



Lokasi penelitian merupakan salah satu daerah yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi. Jenis tutupan lahan yang paling tinggi

yakni hutan rawa dengan nilai mencapai 641.801,97 ha (BPS, 2017). Diskontinuitas yang muncul terutama di bagian timur daerah penelitian (Kecamatan Langgam, Bandar Sei Kijang, Pangkalan Kerinci dan Pangkalan Kuras) dindikasi disebabkan oleh lokasinya yang didominasi oleh area perkebunan. Area dengan vegetasi tinggi, memiliki peluang munculnya dekorelasi temporal tinggi akibat kecepatan pertumbuhan tanaman di daerah tersebut.

3. Perbedaan *Interferometric Wide Swath* (IW)

Diskontinuitas yang muncul di daerah penelitian kebanyakan merupakan daerah yang terdapat diantara tampalan dua IW citra SAR. Perbedaan IW dan *scene* citra dapat menyebabkan munculnya diskontinuitas karena perbedaan waktu perekaman yang berhubungan dengan perbedaan kondisi atmosfer di wilayah penelitian. Selain itu, perbedaan *incidence angle* dan *off-nadir angle/look angle* antara masing-masing IW dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi munculnya diskontinuitas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengolahan data SAR pasangan bulan Juni 2015 dan Juni 2016 dengan metode DInSAR, penurunan permukaan tanah di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau banyak terjadi di daerah lahan gambut dengan nilai penurunan paling tinggi sebesar 109,113 mm pada koordinat $0^{\circ}8'34''$ LU $102^{\circ}46'2''$ BT dan nilai kenaikan lahan terbesar 108,089 mm dengan koordinat $0^{\circ}39'10''$ LU $102^{\circ}47'42''$ BT
2. Berdasarkan pengolahan data SAR pasangan bulan Juni 2016 dan Juli 2017 dengan metode DInSAR, penurunan permukaan tanah di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau banyak terjadi di daerah lahan gambut dengan nilai penurunan paling tinggi sebesar 251,842 mm pada koordinat $0^{\circ}20'06''$ LU $101^{\circ}51'26''$ BT dan nilai kenaikan lahan terbesar 108,420 mm dengan koordinat $-0^{\circ}18'30''$ LS $101^{\circ}44'30''$
3. Penurunan permukaan lahan tertinggi yang terjadi di Kabupaten Pelalawan berada dalam area gambut yakni sebesar 109,113 mm pada koordinat $0^{\circ}8'34''$ LU $102^{\circ}46'2''$ BT berdasarkan hasil pengolahan pasangan citra SAR bulan Juni 2015-Juni 2016 dan sebesar 251,842 mm pada koordinat $0^{\circ}20'06''$ LU $101^{\circ}51'26''$ BT berdasarkan hasil pengolahan pasangan citra SAR bulan Juni 2016-Juli 2017
4. Penurunan permukaan lahan gambut di Kabupaten Pelalawan berdasarkan dua pengamatan menggunakan teknologi DInSAR menunjukkan pola linier yakni terus mengalami penurunan di wilayah Kecamatan Teluk Meranti dan sebagian di wilayah Kecamatan Kerumutan. Sedangkan pola kolinier ditunjukkan pada dua pengamatan DInSAR di Kecamatan Pelalawan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan proses dan hasil penelitian meliputi :

1. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengamatan deformasi dengan metode DInSAR diantaranya adalah pemilihan pasangan citra yang tepat, jarak *baseline* yang ideal serta jarak temporal yang sesuai untuk memperkecil *noise* akibat efek dekorelasi temporal.
2. Dalam pengamatan dengan metode DInSAR di daerah gambut, lebih baik digunakan nilai koherensi minimum sebesar 0,1 dan menggunakan *wavelength* 200 dalam proses *unwrapping* dengan metode *snaphu*.
3. Pengolahan data SAR dengan metode DInSAR sebaiknya dilakukan dengan memperhatikan spesifikasi perangkat keras yang digunakan seperti kapasitas RAM (minimal 8 GB) dan *processor* (minimal Core i5).
4. Dalam pengamatan area dengan kerapatan vegetasi yang tinggi, sebaiknya digunakan teknik multitemporal InSAR seperti SBAS (*Small Baseline Subset*) atau PS-InSAR (*Persistent Scatterer Interferometry SAR*) dan citra SAR dengan tipe panjang gelombang *L-Band*.
5. Dalam pengamatan area gambut dengan teknologi radar, sebaiknya pemilihan musim perlu dipertimbangkan. Mengingat permukaan lahan gambut akan mengalami kenaikan pada musim hujan. Sehingga, pengamatan lebih baik dilakukan dengan menggunakan citra SAR yang diakuisisi pada musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., & Subiksa, I. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan *World Agroforest Centre* (ICRAF).
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2017. Kabupaten Pelalawan Dalam Angka 2017. hal. 12. Badan Pusat Statistik.
- Chan & Koo. 2008. *An Introduction to Synthethic Aperture Radar* (SAR). Vol. 2, hal. 27-60. Malaysia: Multimedia University.
- Crosseto, M. 2008. *State-of-The-Art Of Land Deformation Monitoring Using Differential SAR Interferometry*. Castelledefels: Av. del Canal Olimpico.
- Ding, X. Li, Z. Zhu, J. dkk. 2008. *Atmospheric Effects on InSAR Measurements and Their Mitigation*. *Sensors*. 8, hal. 5426-5448. Hongkong: Sensors. Diambil kembali dari www.mdpi.org/sensors
- European Space Agency* (ESA). 2007. *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. (K. Fletcher, Penyunt.) Noordwijk: ESA Publications.
- European Space Agency* (ESA). 2013. *Sentinel-1 User Handbook*. Dipetik 4 Agustus 2017, dari https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1-1_User_Handbook
- Febriyanti, R. F. 2017. Analisis Deformasi Permukaan Gunung Raung Menggunakan Teknologi *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) Berdasarkan Erupsi 28 Juni 2015. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Hanssens. 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Delft: Kluwer Academic.
- Ismullah, H. 2002. Model Tinggi Permukaan Dijital Hasil Pengolahan Radar Interferometri Satelit untuk Wilayah Berawan. Institut Teknologi Bandung.
- Kingsley, S., & Quegan, S. 1992. *Understanding Radar System*. New York: McGraw-Hill.
- Mellors, R., Lindsey, E., Xu, X., & Feigl, K. 2017. *Theory and Practice of Phase Unwrapping*. Diambil kembali dari <https://www.unavco.org/education/>
- Mubekti. 2011. Studi Pewilayahan Dalam Rangka Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Provinsi Riau. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Vol. 13, hal. 88-94. Jakarta: Pusat Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam-BPPT.
- Qing, X. dkk. 2011. *The Filtering and Phase Unwrapping of Interferogram*. Zhengzhou: Institute of Surveying and Mapping.
- Sandwell, D., Mellors, R., Tong, X., Wei, M., & Wessel, P. (2010). *GMTSAR: An InSAR Processing System Based on Generic Mapping Tools*.
- Skolnik, M. (1990). *Radar Handbook Second Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Taekuchi, S. dkk. 2002. *Comparison of InSAR Capability for Land Subsidence Detection between C-Band and L-Band SAR*. Hiroshima: Hiroshima Institute of Technology.
- Turmudi, dkk. 2016. Pengelolaan Lahan Gambut dan Dampak Subsiden yang Ditimbulkannya (Studi Kasus Kepulauan Meranti, Provinsi Riau). (hal. 217-226). Bogor: Badan Informasi Geospasial.

- Wibowo, A. 2009. Peran Lahan Gambut dalam Perubahan Iklim Global. *Tekno Hutan Tanaman*, 2 No.1, hal. 19-28. Bogor.
- Widyati, E. 2011. Kajian Optimasi Pengelolaan Lahan Gambut dan Isu Perubahan Iklim., *Vol. 4 No. 2*. Bogor.
- Zhou, Z. 2013. *The Application Of InSAR Time Series Analysis for Monitoring Long-term Surface Change in Peatlands*. Glasgow: *University of Glasgow*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Script* Pengolahan Data

```
#
# Script to pre-process a Sentinel-1a TOPS
mode data set.
#
#   Modified from examples here:
#   http://topex.ucsd.edu/gmtsar/downloads/
#   August 10, 2016
#
#       place the orbits and the *.SAFE
directories in the orig directory
#
#   link the orbits, the xml files, and tiff
files to the global raw directory
#   put the topo in the global topo directory
#
mkdir raw
cd raw
cp ../orig/*.txt .
ln                                     -s
../orig/S1A_IW_SLC__1SDV_20160202T100019_201
60202T100049_009766_00E469_C190.SAFE/annotat
ion/*.xml .
ln                                     -s
../orig/S1A_IW_SLC__1SDV_20160202T100019_201
60202T100049_009766_00E469_C190.SAFE/measure
ment/*.tiff .
ln                                     -s
../orig/S1A_IW_SLC__1SDV_20160214T100019_201
60214T100049_009941_00E981_ABD9.SAFE/annotat
ion/*.xml .
ln                                     -s
../orig/S1A_IW_SLC__1SDV_20160214T100019_201
```

```
60214T100049_009941_00E981_ABD9.SAFE/measure  
ment/*.tiff .  
ln -s ../topo/dem.grd .  
#  
# pre-process all three subswaths  
#  
align_tops_esd.csh          sla-iw1-slc-vv-  
20160202t100019-20160202t100047-009766-  
00e469-004  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160222T121629_V20  
160201T225943_20160203T005943.eof.txt  sla-  
iw1-slc-vv-20160214t100019-20160214t100047-  
009941-00e981-004  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160305T121418_V20  
160213T225943_20160215T005943.eof.txt  
dem.grd  
align_tops_esd.csh          sla-iw2-slc-vv-  
20160202t100020-20160202t100048-009766-  
00e469-005  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160222T121629_V20  
160201T225943_20160203T005943.eof.txt  sla-  
iw2-slc-vv-20160214t100020-20160214t100048-  
009941-00e981-005  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160305T121418_V20  
160213T225943_20160215T005943.eof.txt  
dem.grd  
align_tops_esd.csh          sla-iw3-slc-vv-  
20160202t100021-20160202t100049-009766-  
00e469-006  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160222T121629_V20  
160201T225943_20160203T005943.eof.txt  sla-  
iw3-slc-vv-20160214t100021-20160214t100049-  
009941-00e981-006  
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160305T121418_V20  
160213T225943_20160215T005943.eof.txt  
dem.grd
```

```
#
#  check the config.sla.txt and make sure it
#  is processing from step 1 to evaluate orbital
#  information
#
#  make the swath directories and link the
#  appropriate stuff
#
cd ..
rm -r F1/raw
mkdir F1
cd F1
ln -s ../config.sla.txt .
mkdir raw
cd raw
ln -s ../../raw/*F1* .
cd ..
mkdir topo
cd topo
ln -s ../../topo/dem.grd .
cd ../..
#
rm -r F2/raw
mkdir F2
cd F2
ln -s ../config.sla.txt .
mkdir raw
cd raw
ln -s ../../raw/*F2* .
cd ..
mkdir topo
cd topo
ln -s ../../topo/dem.grd .
cd ../..
#
rm -r F3/raw
```

```
mkdir F3
cd F3
ln -s ../config.sla.txt .
mkdir raw
cd raw
ln -s ../../raw/*F3* .
cd ..
mkdir topo
cd topo
ln -s ../../topo/dem.grd .
#
```



```
#
#  make all the interferograms. can run them
in parallel.
#
cd F1
p2p_S1A_TOPS.csh          S1A20160202_100019_F1
S1A20160214_100019_F1 config.sla.txt >& log &
cd ../F2
p2p_S1A_TOPS.csh          S1A20160202_100020_F2
S1A20160214_100020_F2 config.sla.txt >& log &
cd ../F3
p2p_S1A_TOPS.csh          S1A20160202_100021_F3
S1A20160214_100021_F3 config.sla.txt >& log &
```

```

#
# This is an example configuration file for
p2p_RS2.csh
#
# all the comments or explanations are marked
by "#"
# The parameters in this configuration file
is distinguished by their first word so
# user should follow the naming of each
parameter.
# the parameter name, "=" sign, parameter
value should be separated by space " ".
# leave the parameter value blank if using
default value.
#

#####
# processing stage #
#####
# 1 - start from preprocess
# 2 - start from focus and align SLC images
# 3 - start from make topo_ra
# 4 - start from make and filter
interferograms
# 5 - start from unwrap phase
# 6 - start from geocode
proc_stage = 3

#####
# parameters for preprocess #
# - pre_proc.csh #
#####
# num of patches
num_patches =

# earth radius

```

```

earth_radius =

# near_range
near_range =

# Doppler centroid
fd1 =

#####
####
#   parameters for focus and align SLC images
#
#   - align.csh                                     #
#####
####
#
#####
#   parameters for make topo_ra                     #
#   - dem2topo_ra.csh                               #
#####
# subtract topo_ra from the phase
#   (1 -- yes; 0 -- no)
topo_phase = 1
# if above parameter = 1 then one should have
put dem.grd in topo/

# topo_ra shift (1 -- yes; 0 -- no)
shift_topo = 0

#####
#####
#           parameters   for   make   and   filter
interferograms  #
#   - intf.csh                                     #
#   - filter.csh                                    #

```

```
#####
#####
# switch the master and slave when doing intf.
# put "1" if assume master as repeat and slave
as reference
# put "0" if assume master as reference and
slave as repeat [Default]
# phase = repeat phase - reference phase
switch_master = 0

# set the filter wavelength in meters
(default is 100m)
# this is the wavelength where the filter has
a gain of 0.5
# the images will be sampled at 1/4 wavelength
or smaller
filter_wavelength = 100

# decimation of images
# decimation control the size of the
amplitude and phase images. It is either 1 or
2.
# Set the decimation to be 1 if you want
higher resolution images.
# Set the decimation to be 2 if you want
images with smaller file size.
#
dec_factor = 2
#
#
#####
# parameters for unwrap phase #
# - snaphu.csh #
#####
# correlation threshold for snaphu.csh (0~1)
# set it to be 0 to skip unwrapping.
```

```

threshold_snaphu = 0.01

# region to unwrap in radar coordinates
# (leave it blank if unwrap the whole region)
# range/azimuth
# example 1000/21000/5000/46000
region_cut =

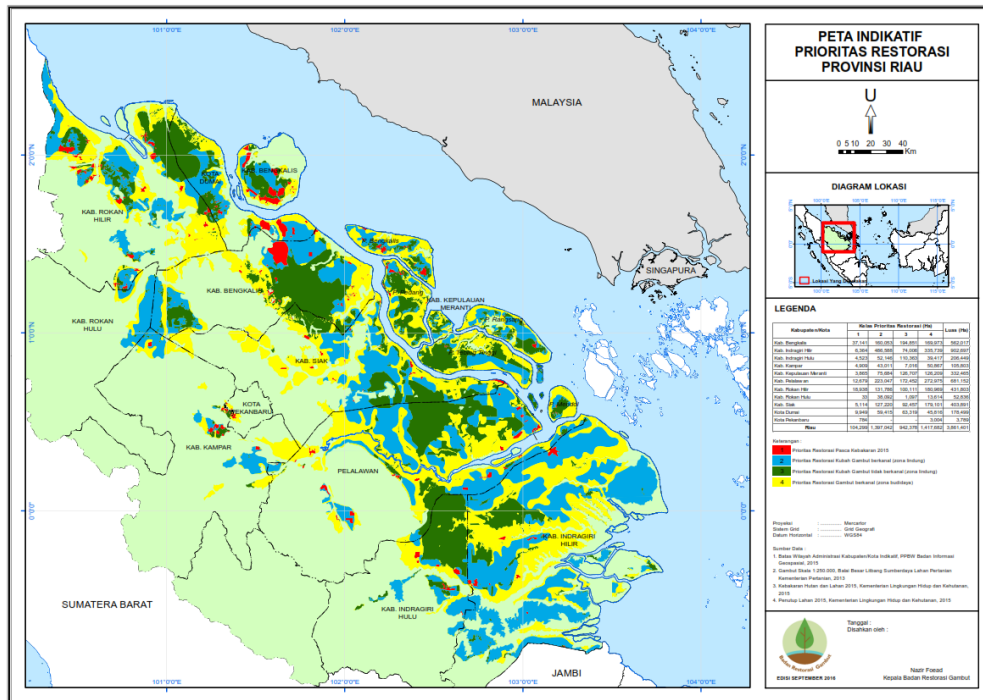
# mask the wet region (Lakes/Oceans) before
unwrapping (1 -- yes; else -- no)
switch_land = 1

#
# Allow phase discontinuity in unwrapped
phase. This is needed for interferograms
having sharp phase jumps.
# defo_max = 0 - used for smooth unwrapped
phase such as interseismic deformation
# defo_max = 65 - will allow a phase jump of
65 cycles or 1.82 m of deformation at C-Band
#
defomax = 0.01

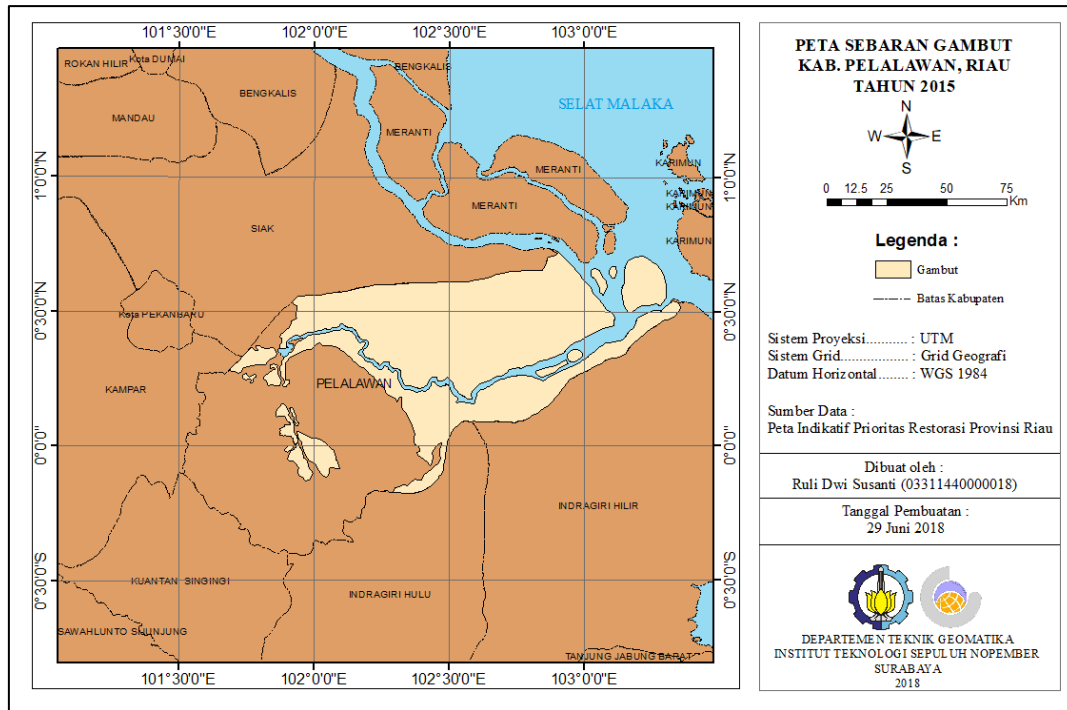
#####
#   parameters for geocode           #
#   - geocode.csh                   #
#####
# correlation threshold for geocode.csh (0~1)
threshold_geocode = .11

```

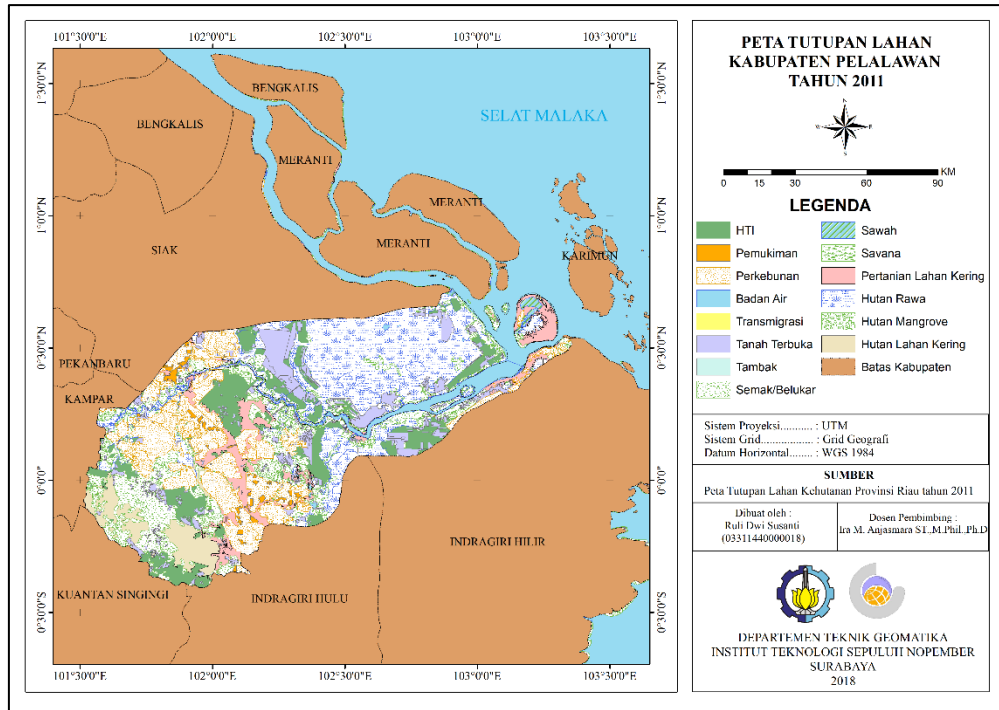
Lampiran 2. Peta Indikatif Prioritas Restorasi Provinsi Riau



Lampiran 3. Peta Hasil Digitasi Persebaran Gabut di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau



Lampiran 4. Peta Tutupan Lahan Kabupaten Pelalawan Tahun 2011



Lampiran 6. Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Blora, pada tanggal 17 Februari 1997 merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Kamolan 2, SMP 1 Blora dan SMA 1 Blora. Sejak SMP, penulis aktif dalam kegiatan OSIS dan berlanjut hingga bangku SMA. Selain organisasi di sekolah, penulis juga aktif dalam organisasi di luar sekolah seperti Himpunan Pengajian Remaja Islam Blora (HIMPARISBA) dan tercatat pernah menjadi anggota pengurus.

Setelah menamatkan pendidikan di bangku SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama mengenyam pendidikan di bangku kuliah, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) sebagai staff Departemen Sosial. Penulis juga banyak berkecimpung dalam aktivitas Lembaga Dakwah Kampus. Secara struktural, penulis pernah diamanahi sebagai staff, *Mid Leader* hingga Pengurus Harian Badan Semi Otonom Forum Silaturrahim Lembaga Dakwah Kampus (BSO FSLDK) Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI). Dalam bidang pengembangan skill manajerial maupun spiritual, penulis secara aktif mengikuti beberapa pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, PSI 1, PSI 2, dan PSI 3. Di tahun terakhir masa perkuliahan, penulis masih tercatat aktif sebagai Pengurus Harian Pusat Komunikasi Daerah FSLDK Surabaya Raya (Puskomda FSLDK Surya). Adapun pengalaman lain yang pernah dilalui penulis yakni berkesempatan menjadi salah satu Delegasi ITS *Goes Global Batch 1* di Singapura pada tahun 2017.